Ns.rif.:web/banca_dati/linee_guida/rischio_esplosione/Anno2006/037

REGIONE PIEMONTE

ESPERIENZE DI LAVORO
A cura di:

DIP. PREVENZIONE SPRESAL

DIP. INGEGNERIA DEL TERRITORIO, DELL'AMBIENTE E DELLE GEOTECNOLOGIE

Esplosioni da polveri nei processi di finitura di manufatti in alluminio e leghe nella realtà produttiva ASL 14 VCO: metodi di progettazione e gestione degli impianti ai fini della conservazione e del miglioramento della sicurezza nel tempo

io scelgo la sicurezza

sicuri di essere sicuri

Nel presente lavoro sono ricompresi i risultati scientifici salienti derivanti da uno studio commissionato da Camera di Commercio Industria e Artigianato VCO al Dipartimento di Scienza dei Materiali e Ingegneria Chimica del Politecnico di Torino sul tema "Supporto tecnico-scientifico alle imprese del casalingo nell'area VCO per i problemi di esplosività delle polveri di alluminio", responsabile l'ing. Luca Marmo.

A tale studio ha preso attiva parte l'ing. Diego Cavallero, dottorando in Sicurezza Industriale ed Analisi dei Rischi nello stesso Politecnico.

Hanno realizzato la ricerca:

AZIENDA SANITARIA LOCALE 14 del Verbano Cusio Ossola
Servizio Prevenzione e Sicurezza negli Ambienti di Lavoro
Dr. Francesco Lembo – Direttore S.Pre.S.A.L. – francesco.lembo@asl14piemonte.it
Dr.ssa Giulia Mammoliti – Medico Dirigente – giulia.mammoliti@asl14piemonte.it
p.i. Maurizio Bosi – Collaboratore tecnico della prevenzione
p.i. Piero Nolli – Collaboratore tecnico della prevenzione

POLITECNICO DI TORINO
Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie (DITAG)
Ing. Mario Patrucco – Professore Straordinario – mario.patrucco@polito.it
Ing. Silvia Nobile – Borsista di Ricerca – silvia.nobile@polito.it
Dipartimento di Scienza dei Materiali e Ingegneria Chimica (DISMIC)
Ing. Luca Marmo – Ricercatore Confermato – luca.marmo@polito.it
Ing. Maria Luisa Debernardi – Assegnista di ricerca
Dipartimento di Ingegneria Elettrica (DELET)
Ing. Riccardo Tommasini – Ricercatore Confermato –riccardo.tommasini@polito.it

Si ringrazia per la collaborazione:
Camera di Commercio Industria e Artigianato VCO

Presentazione

Le azioni di prevenzione promosse dall'ASL n.14 del VCO negli ambienti di lavoro e mirate a settori o comparti caratterizzati da peculiari e rilevanti situazioni di pericolo testimoniano, ancora una volta, che l'efficacia degli interventi messi in atto è spesso il risultato di una collaborazione sistematica tra il mondo industriale e le strutture pubbliche operanti nel campo della prevenzione.

La convenzione stipulata da qualche anno tra lo SPreSAL del Dipartimento di Prevenzione e il Politecnico di Torino - Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie (DITAG) - rappresenta un positivo esempio di cooperazione tra Organismi diversi che ha consentito di realizzare, nel rispetto di ruoli e competenze, iniziative di indubbia valenza scientifica.

Esprimo soddisfazione per questa nuova pubblicazione che consente di mettere a disposizione degli operatori del settore (datori di lavoro, analisti della sicurezza, progettisti, RSPP, RLS, medici competenti, ecc.) un utile strumento di consultazione e di studio per il miglioramento delle condizioni di vita e lavoro. L'impegno dell'ASL nel garantire le risorse indispensabili per supportare interventi mirati dello SPreSAL sta a significare la particolare attenzione che l'Amministrazione dedica alla promozione della salute in funzione del costante progredire delle conoscenze tecniche ed epidemiologiche. Auspico per il futuro nuove iniziative in altri settori che contribuiscano ad assicurare, attraverso l'aggiornamento culturale, forme di tutela della salute degli addetti sempre più avanzate e in armonia con lo sviluppo economico del territorio.

Dott. Mario VANNINI

Direttore Generale A.S.L. N. 14 – V.C.O.

La pubblicazione di questo secondo opuscolo sulla gestione del rischio di esplosione da polveri nei processi di pulitura di manufatti in alluminio rappresenta per lo scrivente, che ha condiviso con il dr. F.Lembo, responsabile S.Pre.S.A.L., l'importanza dell'approccio multidisciplinare a problematiche complesse, motivo di soddisfazione per il pregevole contenuto scientifico del manuale prodotto.

Il buon lavoro svolto in due anni di collaborazione con un Organismo di ricerca e di studio quale il Politecnico di Torino è documentato dalla produzione di manuali di prevenzione in comparti specifici che costituiscono essenziali strumenti a disposizione degli attori della prevenzione aziendale per la riduzione al minimo tecnologicamente possibile dei rischi per la salute e la sicurezza nei luoghi di lavoro.

Nel giusto equilibrio di azioni di prevenzione e vigilanza, come è accaduto nel nostro territorio per le aziende con processi di pulitura di manufatti in alluminio, si concretizza la missione dei Servizi di Prevenzione e Sicurezza Ambienti di lavoro.

L'esperienza maturata nel comparto specifico nasce da un interscambio tra mondo industriale, Organismi di ricerca e studio e strutture pubbliche di prevenzione e rappresenta per il nostro territorio un momento importante per l'aggiornamento culturale di tutti.

Colgo l'occasione per auspicare ulteriori iniziative di collaborazione con il Politecnico di Torino, visti i significativi ed indubbi risultati raggiunti in termini di prevenzione.

Dr. Pompeo Tringali

Direttore dipartimento di prevenzione A.S.L. N. 14 – V.C.O.

Il presente volume è stato sviluppato con il supporto dello SPreSAL dell'ASL n. 14 del VCO che opera in un territorio in cui la lavorazione del casalingo, e quindi l'attività di finitura di manufatti in alluminio e sue leghe, rappresenta un settore trainante per l'intera economia. Il 60% delle esportazioni del settore metalmeccanico provinciale è rappresentato infatti da casalinghi e il Verbano Cusio Ossola è fra le 6 principali province italiane esportatrici di prodotti in metallo.

Poiché questo settore è particolarmente esposto a pericoli di esplosione, in quanto molte delle lavorazioni effettuate (molatura, spazzolatura ecc.) producono polveri di alluminio con caratteristiche di reattività all'aria molto elevate, lo SPreSAL ha promosso uno studio volto a consentire l'adozione di misure di prevenzione e protezione efficaci a tutela dei lavoratori e dell'ambiente circostante.

Con la pubblicazione "Esplosioni da polveri nei processi di finitura di manufatti in alluminio e leghe nella realtà produttiva ASL 14 VCO: analisi del rischio e misure di prevenzione", F.Lembo et al. Centro Stampa Regione Piemonte, Torino, 2001 si è attuato un primo e significativo intervento di prevenzione consistente nel mettere a disposizione degli attori della prevenzione aziendale un utile manuale di consultazione partendo da una puntuale analisi della realtà produttiva. Il lavoro svolto ha riguardato la mappatura delle realtà produttive, l'individuazione delle proprietà chimico-fisiche delle polveri oggetto dello studio, la fenomenologia di combustione ed esplosione, la dinamica degli incidenti avvenuti in passato nel VCO e a livello mondiale, l'organizzazione produttiva delle imprese locali e la normativa nazionale e internazionale in materia.

Nella seconda parte del primo manuale è stato affrontato il problema della messa in sicurezza e della gestione adeguata degli impianti e delle attrezzature legate alla lavorazione in oggetto, in relazione alle soluzioni tecniche adottabili e alla tipologia degli impianti di captazione e convogliamento delle emissioni dalle varie sorgenti. Allo scopo, è stata predisposta una lista di controllo che fa riferimento ai requisiti richiesti dalla normativa vigente in materia di sicurezza nelle attività di smerigliatura. Per mancanza di norme tecniche armonizzate che regolano specificamente le lavorazioni in cui vengono prodotte polveri di alluminio, si sono esaminati gli standard vigenti in altri paesi, in maniera tale da avere un punto di riferimento per la valutazione dei requisiti base di sicurezza dell'azienda su cui si conduce l'analisi. Tra le norme disponibili si è scelta la NFPA 651 - 1998 Standard for the Machining and Finishing of Aluminum and the Production and Handling of Aluminum Powders come strumento utilizzabile per raggiungere un livello di sicurezza di partenza.

Occorre ricordare che, oltre ad una corretta analisi di rischio sull'intero ciclo produttivo, si devono esaminare le fasi di gestione delle lavorazioni e dell'intera organizzazione. È pertanto necessario che la sicurezza diventi un impegno di tutti, non solo nell'adottare comportamenti corretti e sicuri nello svolgimento del lavoro, ma anche nel creare costantemente le condizioni più idonee per operare in sicurezza. Non va infine dimenticato che la sicurezza trova la sua attuazione in tutte le fasi di un qualunque ciclo operativo a partire dalla progettazione fino ad arrivare alla fase di gestione per il controllo e miglioramento delle condizioni di sicurezza.

Nel territorio del VCO, a seguito del primo e significativo intervento di prevenzione promosso dal Servizio di Prevenzione e Sicurezza Ambienti di lavoro dell'ASL n.14, si è assistito nell'ultimo biennio a miglioramenti sostanziali nella gestione delle lavorazioni, nella modifica delle attrezzature e nella gestione degli impianti.

Con questa seconda pubblicazione si è voluto concentrare l'attenzione sull'obiettivo ultimo di creare un modello di valutazione del rischio tramite l'identificazione dei criteri di verifica e conservazione del livello di sicurezza raggiunto per le aziende in cui si effettuano lavorazioni che generano polveri di alluminio e leghe.

Dott. Francesco Lembo

Direttore del S.Pre.S.A.L. A.S.L. N. 14 – V.C.O.

Nella mia veste di direttore del Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie (DITAG) del Politecnico di Torino, ho preso atto con vivo compiacimento della pubblicazione di questa nuova monografia sul tema: "Esplosioni da polveri nei processi di finitura di manufatti in alluminio e leghe nella realtà produttiva ASL 14 VCO", lavoro meritorio che segue e completa il precedente volume sull'"Analisi del rischio e misure di prevenzione" (pubblicato nel 2001), con la presente definizione dei "metodi di progettazione e gestione degli impianti ai fini della conservazione e del miglioramento della sicurezza nel tempo".

Nell'ambito assai vasto della tutela della sicurezza e della salute dei lavoratori, tematica centrale di ricerca e di formazione nel nostro Dipartimento, il prof. Mario Patrucco - responsabile della collaborazione con l'ASL 14 VCO - ed i suoi collaboratori hanno sviluppato un sistematico documento di analisi degli impianti di produzione dei manufatti in alluminio, ai fini di individuare e valutare i fattori di rischio, e di suggerire un modello di progettazione e gestione utilizzabile, in termini semplici ma rigorosi, dai numerosi operatori del settore.

II puntuale riferimento alle normative esistenti, la descrizione dei criteri di valutazione, la rassegna delle tipologie di impianto e delle relative tecniche di analisi della sicurezza rendono questo volume un prezioso strumento di studio e di consultazione.

Prof. Sergio DEQUAL

Direttore del Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie – Politecnico di Torino

Affidare la nota introduttiva di un volume dai rigorosi e ricchi contenuti scientifici alla mano di un magistrato inquirente potrebbe apparire una scelta singolare e, forse, poco appropriata, data la peculiarità dei temi trattati.

Siffatta scelta, tuttavia, potrebbe giustificarsi in considerazione delle note, tragiche vicende, che, negli ultimi anni, hanno visto impegnata, nel suo ruolo istituzionale, la Procura della Repubblica di Verbania (direzione delle indagini, lunghe e complesse, volte a ricostruire la dinamica e le cause di gravissimi incidenti, verificatisi all'interno di alcune note imprese locali, aventi ad oggetto la lavorazione di articoli in alluminio).

Due importanti processi penali, invero, all'esito di istruttorie dibattimentali complesse (soprattutto sotto il profilo della contrapposizione dialettica di stimolanti teorie di elevato profilo scientifico, sostenute dai consulenti tecnici delle parti), si sono conclusi con sentenze di condanna per i reati di omicidio colposo, lesioni personali colpose e crollo colposo di costruzioni, conformemente all'impostazione prescelta dalla Pubblica Accusa.

Proprio quei processi, caratterizzati dalla lucida e dotta esposizione di contrastanti tesi scientifiche sulla pericolosità delle polveri d'alluminio, hanno dimostrato, ancora una volta, la radicale, inscindibile connessione esistente fra il dato propriamente giuridico e quello scientifico-tecnologico (da qui la legittimazione, per così dire, della presente nota).

L'applicazione giudiziaria della norma giuridica – in particolar modo di quella contenente precetti e sanzioni antinfortunistici – non può mai prescindere, infatti, da un approfondito, scrupoloso ed aggiornato studio dei fenomeni legati alle caratteristiche ed alle qualità proprie di sostanze, elementi chimici e composti, il cui impiego, frequente e diffuso, rischia, talvolta, di essere eccessivamente disinvolto, nell'ambito dei diversi processi produttivi.

Peraltro, i processi penali di cui sopra hanno visto riaffermato - anche in tema di diffusione delle polveri d'alluminio nell'ambiente di lavoro - il principio in virtù del quale il datore di lavoro, quale principale garante della sicurezza e della salute dei lavoratori, deve ispirare costantemente la propria condotta alle acquisizioni della migliore scienza ed esperienza, sì da assicurare accorgimenti e presidi prevenzionistici sofisticati e, soprattutto, conformi al divenire dei processi tecnologici.

In particolar modo, proprio riguardo alle lavorazioni ed alle fasi del ciclo produttivo nelle quali vi sia una maggior produzione e dispersione di polveri d'alluminio, datori di lavoro e dirigenti tecnici dovranno dotare gli ambienti di lavoro di macchine ed impianti che non soltanto siano atti a captare e smaltire quelle polveri perniciose, ma che non costituiscano essi stessi, per effetto del loro funzionamento, un'indesiderata fonte di pericolo, favorendo pericolosi inneschi.

Dott. Nicola MEZZINA

Sostituto Procuratore della Repubblica in Verbania

INDICE

Introduzione e scopo del lavoro **3**
Contesto in cui è stato sviluppato lo studio **5**

1 Principale normativa di riferimento **7**
1.1 DPR n. 126 del 23 marzo 1998 e Direttiva 94/9/CE **7**
1.2 D.Lgs. n. 233 del 12 giugno 2003 e Direttiva 1999/92/CE **10**
1.3 Classificazione dei luoghi con pericolo di esplosione per la presenza di polveri combustibili **16**
1.4 Normative recenti in materia di sicurezza delle macchine **30**
1.4.1 La Direttiva Macchine ed i Comitati Tecnici **32**
1.4.2 Il D.P.R. 24 luglio 1996 n.459 **35**

2 Criterio di analisi e gestione del rischio **37**
2.1 Metodologia di riferimento **37**
2.2 Un aspetto particolare: sicurezza di macchine ed impianti **44**
2.2.1 Macchine utilizzate negli stabilimenti di lavorazione di superfici di alluminio nel VCO **44**
2.2.2 Impianti utilizzati per la captazione e l'abbattimento dei particolati negli stabilimenti di lavorazione di superifici di alluminio nel VCO **46**
2.2.3 Gestione della sicurezza di macchine ed impianti secondo la metodologia proposta **48**
2.2.4 Caratteristiche di base delle tecniche di analisi da adoperare nell'ambito dell'approccio proposto **54**
2.3 Compendio delle tecniche di Hazard Evaluation ritenute più confacenti alla analisi di aspetti specifici nell'ambito della tipologia industriale in esame **56**
2.3.1 Checklist **56**
2.3.2 What If Analysis **58**
2.3.3 Failure Mode Effects Analysis **59**
2.3.4 Hazard and Operability Analysis **62**
2.3.5 Fault Tree Analysis **72**
3 Esempi di applicazione delle diverse tecniche di analisi **79**
3.1 Analisi dei componenti meccanici **80**
3.1.1 Checklist **80**
3.1.2 Failure Mode Effects Analysis **83**
3.2 Analisi delle variabili di processo **89**
3.2.1 What If Analysis **89**
3.2.2 Hazard and Operability Analysis **91**
3.2.3 Fault Tree Analysis **99**
3.3 Esame dei risultati delle prove applicative delle varie tecniche di analisi **102**

Conclusioni **107**

Bibliografia **109**

Introduzione e scopo del lavoro

Questo studio costituisce la seconda parte di un lavoro redatto al fine di rendere disponibile un riferimento strutturato relativamente agli scenari aziendali caratterizzati da attività nel corso delle quali possono essere generate polveri di alluminio aerodisperdibili.

Dato l'associato rischio di formazione di atmosfere esplosive, si è infatti dedicata l'attenzione anzitutto alla messa a punto di un criterio di valutazione della situazione in grado di costituire riferimento per la messa in atto di interventi che assicurino un livello minimo essenziale di sicurezza (si veda al riguardo il documento *"Esplosioni da polveri nei processi di finitura di manufatti in alluminio e leghe nella realtà produttiva ASL 14 VCO: analisi del rischio e misure di prevenzione", F.Lembo et al. Centro Stampa Regione Piemonte, Torino, 2001).*

Stabilite quindi le caratteristiche essenziali di sicurezza, rimaneva da analizzare il secondo fondamentale aspetto di prevenzione, ossia la conservazione ed il miglioramento della stessa nel tempo: questo è appunto il tema che si è sviluppato nel presente lavoro, nel quale, dopo un breve excursus sui principali aspetti associati alla evoluzione della normativa, si è affrontata la questione secondo un approccio di affinamento della analisi di rischio, intesa come strumento di elevate potenzialità per la individuazione e l'analisi approfondita del comportamento di un sistema, esistente o in fase di progettazione, al fine di determinare le conseguenze interne o esterne di tutte le prevedibili deviazioni dalle condizioni ideali di funzionamento. Grazie all'applicazione di tecniche adeguate di analisi è infatti possibile individuare le politiche di riduzione dei rischi per il raggiungimento del livello di sicurezza desiderato.

Conservando - ovviamente - il criterio di approccio già discusso nel precedente volume, per l'approfondimento desiderato su singoli aspetti della questione si è fatto ricorso a tecniche differenti, in virtù del fatto che ciascuna di esse presenta peculiarità specifiche per quanto riguarda gli scopi, i dati di partenza e la forma: pertanto ci si è avvalsi di quelle ritenute più idonee per l'analisi dei vari aspetti in esame, applicandole alle diverse problematiche impiantistiche in base alle loro caratteristiche. In tale contesto emerge la possibilità di un raffronto delle procedure, le cui differenti potenzialità sono poste in evidenza sotto il profilo teorico e tramite gli esempi applicativi.

L'approccio seguito rispetta d'altro canto l'esigenza di razionalità di impostazione, ovvero lo studio deve essere condotto in modo prefissato, formalizzato e ripetibile in modo che, a distanza di tempo, sia ricostruibile passo a passo anche da persone diverse da quelle responsabili della primitiva stesura. Occorrono inoltre sistematicità, cioè che siano considerati tutti i componenti dell'impianto secondo un filo logico, in modo da non tralasciare alcun punto che si possa poi rivelare come elemento debole del sistema, e completezza, affinché per ogni linea o componente dell'impianto siano esaminate tutte le variabili di processo oppure i malfunzionamenti in grado di generare situazioni critiche.

Ad ogni tecnica applicata si è affiancata una dettagliata descrizione del modo di procedere, un'indicazione della documentazione di appoggio da utilizzare e i procedimenti logici con cui si è giunti all'attuazione del metodo.

In conclusione, il risultato di questo lavoro è una descrizione di tipo scientifico di una serie di modelli di analisi sviluppati su casi reali al fine di fornire una traccia utilizzabile tanto in fase di progettazione quanto in fase di esercizio per garantire condizioni operative costantemente corrette e favorire un progressivo miglioramento delle stesse.

Contesto in cui è stato sviluppato lo studio

Il processo di produzione di una caffettiera in alluminio è schematizzato nella Fig. 1.1. Lo studio in esame si concentra sull'operazione di smerigliatura.
Come già ampiamente descritto nel primo volume "Esplosioni da polveri nei processi di finitura di manufatti in alluminio e leghe nella realtà produttiva ASL 14 VCO: analisi del rischio e misure di prevenzione", le lavorazioni effettuate consistono nella smerigliatura e in altre operazioni di finitura superficiale finalizzate a conseguire la lucidatura delle superfici dei manufatti metallici in lega di alluminio e l'eliminazione delle sbavature residuate dai processi di fusione.

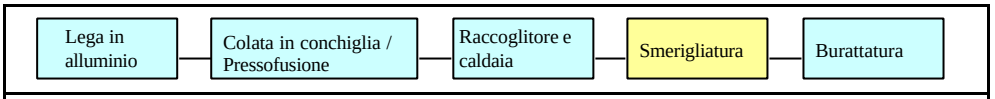


Fig. 1.1 Processo produttivo per la realizzazione delle caffettiere

Le caffettiere sono costituite da due corpi principali: la caldaia che accoglie l'acqua e in cui si inserisce il filtro e il raccoglitore, realizzati con la tecnica del getto in sabbia o in pressofusione.
La caldaia è composta da una lega con caratteristiche tali da assicurare un buon getto con finitura superficiale elevata.
Il raccoglitore della caffettiera è invece caratterizzato da una particolare lega molto ricca di silicio, con colabilità e lavorabilità buone e tenuta a pressione sufficiente. Il silicio ha infatti la capacità di abbassare il punto di fusione e quindi di aumentare la fluidità e la viscosità della lega.
Un esempio di composizione delle leghe utilizzate si trova nella Tab.1.

Tab. 1 Composizione media delle due parti componenti le caffettiere

Caldaia		***Raccoglitore***	
Lega: SGALCU 1		***Lega: UNI 5076-74***	
Cu	5,5%	Cu	2%
Si	1,6%	Si	12%
		Fe	0,95%

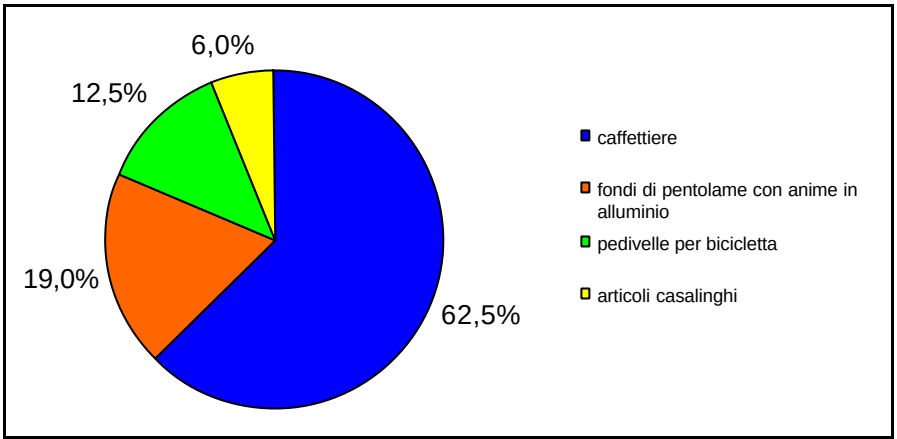


Fig. 1.2 Tipologia e quantità di manufatti in alluminio lavorati nelle aziende del VCO

La smerigliatura è utilizzata per rimuovere le sbavature e le imperfezioni della superficie, residuate dalle operazioni di pressofusione o di colata in conchiglia, o per preparare le superfici alla successiva burattatura.
La successiva burattatura è effettuata in vasconi pieni di acqua, tensioattivo e sfere in acciaio di piccole dimensioni e mantenuti in agitazione, in modo da ottenere una perfetta lucidatura dei pezzi. A questo punto il manufatto in alluminio è ultimato.
Dalla smerigliatura si originano polveri di alluminio aventi granulometria variabile, soprattutto in funzione del tipo di abrasivo usato, costituite prevalentemente da trucioli di lunghezza compresa tra 100 µm e 1 µm.
La polvere è composta dal metallo in lavorazione con minime aggiunte di sostanze abrasive cedute dall'usura dei nastri e tracce di grassi.
Le polveri risultanti sono generalmente captate al punto di emissione, per mezzo di impianti di aspirazione che convogliano il particolato a un sistema di abbattimento collettivo.

1. Principale normativa di riferimento

I riferimenti normativi principali riguardanti la sicurezza degli ambienti di lavoro, le lavorazioni dei manufatti in alluminio e le atmosfere esplosive sono riportati sul primo volume; di seguito si riprenderanno alcuni concetti da tener presente ai fini dell'analisi di rischio su macchine e impianti e le recenti evoluzioni normative in merito.

1.1 DPR n. 126 del 23 marzo 1998 e Direttiva 94/9/CE

Al fine di riavvicinare le legislazioni degli stati membri relative agli apparecchi e ai sistemi di protezione destinati ad essere utilizzati in atmosfera potenzialmente esplosiva, è stata emanata la Direttiva 94/9/CE del 23 marzo 1994, recepita dal DPR 126 del 23 marzo 1998, (regolamento recante norme per l'attuazione della Direttiva 94/9/CE, data di adeguamento 30 giugno 2003). Essa è rivolta a tutti coloro che producono e immettono sul mercato i prodotti da destinarsi a luoghi potenzialmente interessati dalla formazione di atmosfere esplosive.

Per gli apparecchi elettrici, la direttiva ATEX 100A sostituisce le direttive 76/117/EEC, 79/196/EEC e 82/130/EEC e i loro adeguamenti che sono le basi delle norme in vigore relative alle apparecchiature per atmosfere esplosive.

La Direttiva si applica ad apparecchiature e sistemi di protezione impiegati in atmosfere potenzialmente esplosive sia se appartenenti ad impianti industriali, sia se presenti in altri luoghi suscettibili di divenire pericolosi per atmosfera esplosiva. Si applica inoltre ai dispositivi di controllo, di regolazione e di sicurezza destinati ad uso fuori dell'atmosfera esplosiva ma che sono necessari o contribuiscono al funzionamento sicuro delle attrezzature e dei sistemi di protezione, per quel che riguarda i rischi di esplosione.

Le apparecchiature sono classificate in due gruppi. Il gruppo I comprende le apparecchiature destinate al lavoro sotterraneo delle miniere e le parti delle loro installazioni di superficie, suscettibili a divenire pericolose per il grisù e/o le polveri combustibili. Il gruppo II comprende le apparecchiature progettate per essere usate in altri luoghi probabilmente rese pericolose da atmosfere esplosive. All'interno di ogni gruppo sono definite diverse categorie di materiali secondo il loro utilizzo.
Di seguito sono riportate esclusivamente le considerazioni riguardanti gli impianti industriali.

Le *misure di protezione da adottare* dipendono dalla probabilità di formazione di un'atmosfera esplosiva e dalle conseguenze di una possibile esplosione.

Ciò si valuta attribuendo gli apparecchi ad una delle categorie esposte in Tab.2, a seconda del livello di protezione dagli inneschi che essi consentono:

Tab. 2 Classificazione degli apparecchi in categorie

categoria 1	Apparecchi progettati per poter operare in conformità ai parametri operativi stabiliti dal costruttore e in grado di assicurare un livello di protezione molto alto. Gli apparecchi di questa categoria devono essere utilizzati in luoghi in cui sono presenti continuativamente, per lunghi periodi o frequentemente atmosfere esplosive [per i gas, zona 0; per le polveri, zona 20] e possono essere adottati anche in altri luoghi. Questi apparecchi devono assicurare il livello di protezione richiesto anche in caso di rari incidenti all'apparecchio e sono caratterizzati da mezzi di protezione tali per cui: - in caso di guasto di una misura di protezione, almeno una seconda misura indipendente assicuri il livello di protezione richiesto; - oppure il livello di protezione richiesto sia assicurato in caso di due guasti indipendenti l'uno dall'altro.
categoria 2	Apparecchi progettati per poter operare in conformità ai parametri operativi stabiliti dal costruttore e in grado di assicurare un livello di protezione alto. Gli apparecchi di questa categoria sono destinati ad essere utilizzati in luoghi in cui è probabile che si presentino atmosfere esplosive [per i gas, zona 1; per le polveri, zona 21] o altri luoghi con requisiti meno vincolanti. Le misure di protezione assicurano il livello di protezione richiesto anche in caso di disturbi frequenti o di guasti all'apparecchio di cui normalmente si deve tenere conto.
categoria 3	Apparecchi progettati per poter operare in conformità ai parametri operativi stabiliti dal costruttore e in grado di assicurare un livello di protezione normale. Gli apparecchi di questa categoria sono destinati ad essere utilizzati in luoghi in cui è improbabile che si presentino atmosfere esplosive, oppure, qualora si presentino, ciò si verifica solo raramente e per un breve periodo [per i gas, zona 2; per le polveri, zona 22].

In particolare, *nel caso di atmosfere esplosive causate da miscele polvere-aria* gli apparecchi devono rispondere ai seguenti requisiti:

Tab. 3 Requisiti degli apparecchi appartenenti alla classe II.	
categoria 3	Si devono evitare le sorgenti di accensione che possono presentarsi continuativamente o frequentemente (per es. durante il normale funzionamento degli apparecchi, sistemi di protezione e componenti). Ciò vale per l'accensione sia di uno strato, sia di una nube di polvere e comprende anche la limitazione delle temperature superficiali, per impedire l'accensione delle polveri depositatesi.
Categoria 2	Oltre ad evitare le sorgenti di accensione specificate per la categoria 3, si devono evitare anche le sorgenti di accensione che possono presentarsi in situazioni rare (per es. a causa di anomalie di funzionamento degli apparecchi, sistemi di protezione e componenti). Ciò vale per l'accensione sia di uno strato che di una nube di polvere.
Categoria 1	Oltre ad evitare le sorgenti di accensione specificate per la categoria 2, si devono evitare anche le sorgenti di accensione che possono essere originate da sistemi di protezione e loro componenti.

Tutto quanto precede deve ovviamente essere stato adeguatamente considerato tanto in fase di acquisizione e di installazione di macchine e attrezzature (che debbono recare le attestazioni di conformità e adeguatezza all'impiego nella specifica applicazione), quanto in fase di uso e manutenzione (integralmente a carico del datore di lavoro).

Nella progettazione e costruzione di un prodotto, il produttore è quindi obbligato a soddisfare le prescrizioni essenziali dopo avere eseguito una analisi preliminare del rischio, anche necessaria alla valutazione di conformità da parte degli organismi notificati.

1.2 D.Lgs n. 233 del 12 giugno 2003 e Direttiva 1999/92/CE

La **Direttiva 1999/92/CE** del 16 dicembre 1999 (15° Direttiva particolare ai sensi dell'art.16 paragrafo 1 della Direttiva 89/391/CE - data di adeguamento 30 giugno 2003) affronta gli obblighi degli utilizzatori riguardo la prevenzione delle esplosioni e le relative protezioni. La direttiva è stata recepita in Italia con il D.Lgs. 233/03, divenuto parte del testo del D.Lgs. n. 626 del 19 settembre 1994, come sua integrazione.

Il vasto ambito di applicazione del Titolo VIII-bis del D.Lvo 626/94 *"Protezione da atmosfere esplosive"* riguarda tutte le aziende, ad eccezione di casi specifici (ad esempio attività estrattive, medicali, impianti GPL, ecc.), potenzialmente interessate dalla presenza di sostanze infiammabili (gas, vapori, nebbie e polveri) in grado di formare miscele esplosive con aria (dette "atmosfere esplosive"); numerosissimi comparti industriali sono pertanto coinvolti.

In prima istanza, il datore di lavoro è chiamato a:

- adottare opportune misure tecniche e organizzative;
- valutare i rischi dell'esplosione;
- redigere un Documento attestante l'avvenuta valutazione;
- suddividere in zone gli ambienti in cui possono formarsi atmosfere esplosive e segnalare le zone definite.

Le prescrizioni minime per il miglioramento della tutela della sicurezza e della salute dei lavoratori che possono essere esposti al rischio di atmosfere esplosive dettate dalla Direttiva 1999/92/CE riguardano, tra l'altro:

a) Provvedimenti organizzativi:

- formazione professionale dei lavoratori;
- istruzioni scritte e autorizzazione al lavoro;
- "*impianti, attrezzature, sistemi di protezione sono messi in funzione solo se dal documento per la protezione contro le esplosioni risulta che possono essere usati senza rischio in atmosfera esplosiva"*;
- "*le attrezzature da lavoro [..] nonché la struttura del luogo di lavoro sono state progettate, costruite, montate, installate,*

  mantenute in servizio e fatte funzionare in modo tale da ridurre al minimo i rischi di esplosione";
- "*prima che vengano messi in funzione luoghi di lavoro con aree in cui possono formarsi atmosfere esplosive, è verificata la sicurezza dell'intero impianto per quanto riguarda le esplosioni*";
- "*i sistemi di protezione devono poter essere mantenuti in condizioni sicure di funzionamento indipendentemente dal resto dell'impianto in caso di interruzione dell'alimentazione*".

b) Provvedimenti tecnici:

- adozione di protezioni progettate per il massimo pericolo possibile;
- prevenzione dei rischi d'ignizione tenendo conto anche delle cariche elettrostatiche che provengono dai lavoratori o dall'ambiente di lavoro;
- installazione di dispositivi ottici/acustici di allarme;
- gestione di fughe o sprigionamenti di gas, nebbie o polveri combustibili che possono dar luogo ad esplosioni.

Tutte le aziende annoverate nell'ambito di applicazione della norma hanno dovuto adottare i provvedimenti di cui ai precedenti punti a) e b) (provvedimenti organizzativi e tecnici), con decorrenza dal 30 giugno 2003.

Inoltre, gli stabilimenti nuovi a far data dal 30 giugno 2003 o modificati dopo il 30 giugno 2003 per quanto concerne i luoghi di lavoro soggetti alla norma, devono soddisfare i requisiti minimi della normativa, ivi comprendendo la scelta delle attrezzature di lavoro in conformità con quanto espresso dalla Tabella 1.

Gli impianti rientranti nel campo di applicazione della norma e non compresi al punto precedente, sono comunque soggetti all'adeguamento ai disposti del D.Lgs. 233/03 non oltre il 30 giugno 2006.

Inoltre al Capo II del D.Lgs. 233/03 sono posti in carico al Datore di lavoro i seguenti obblighi:

- prevenire la formazione di atmosfere esplosive;
- evitare l'ignizione di atmosfere;
- attenuare i danni derivanti da una esplosione;
- integrare o coordinare tali misure con altre contro la propagazione delle esplosioni;
- aggiornare l'analisi.

In particolare all'Art. 88-quinquies del D.Lvo 626/94 "*Valutazione dei rischi di esplosione"* si recita:

Comma 1. Nell'assolvere gli obblighi stabiliti dall'articolo 4, il datore di lavoro valuta i rischi specifici derivanti da atmosfere esplosive, tenendo conto almeno dei seguenti elementi:

a) probabilità e durata della presenza di atmosfere esplosive;

b) probabilità che le fonti di accensione, comprese le scariche

elettrostatiche, siano presenti e divengano attive ed efficaci;

c) caratteristiche dell'impianto, sostanze utilizzate, processi e loro possibili interazioni;

[…]

Comma 2. I rischi di esplosione sono valutati complessivamente.

Quest'ultimo avverbio è utilizzato per intendere:

- l'impianto nella sua interezza;
- il processo e tutte le sostanze presenti come materie prime, prodotti, sottoprodotti, residui o prodotti intermedi, ivi compresi quelli che possono ragionevolmente ritenersi generati in caso di incidente.

Si evince pertanto che, ove non noti, siano da determinare i parametri descriventi il carattere esplodibile delle sostanze, utili sia per l'identificazione dei pericoli e delle sorgenti di innesco, come pure allo scopo eventuale di dimensionare i sistemi di protezione dalle esplosioni.

Il datore di lavoro deve quindi effettuare una valutazione complessiva del rischio di esplosione, considerando gli ambienti nei quali si può verificare l'atmosfera esplosiva e gli ambienti a questi collegati mediante aperture. A tal fine, si considerano il tipo di atmosfera esplosiva che potrebbe insorgere, la sua persistenza, l'eventuale presenza di possibili

agenti di innesco, le sostanze presenti e la loro possibile interazione, valutando, infine, l'ampiezza degli effetti prevedibili su strutture e persone.

Le fasi necessarie ad una Valutazione del Rischio derivante dall'esposizione dei lavoratori alle atmosfere esplosive sono:

1) classificazione delle aree;
2) valutazione dei rischi di esplosione;
3) ove necessario, eliminazione o riduzione del rischio mediante misure specifiche di prevenzione e protezione;
4) messa a norma delle attrezzature da utilizzare nelle aree in cui possono formarsi atmosfere esplosive.

Non può essere pertanto considerata esaustiva una valutazione che si limita al punto 1.

Il *Documento di Protezione dalle Esplosioni* (DPE) va mantenuto continuamente aggiornato e deve dare indicazioni riguardo a:

- pericoli di esplosione individuati nella realtà produttiva in esame;
- misure che saranno prese per eliminare i rischi di esplosione;
- individuazione e classificazione delle zone (v. più avanti);
- verifica dell'idoneità di attrezzature di lavoro al tipo di zona in cui sono impiegate;
- mantenimento in efficienza di macchine e attrezzature.

Un esauriente Documento di Protezione dalle Esplosioni può essere articolato nei seguenti passi:

1. Premessa e scopo del documento
2. Descrizione dello stabilimento e delle attività svolte
3. Identificazione dei pericoli
4. Valutazione dei rischi
5. Misure specifiche di protezione e prevenzione

L'allegato I prevede una classificazione dei luoghi pericolosi all'interno degli stabilimenti. Un luogo, ai sensi della direttiva, può essere considerato "pericoloso" o "non-pericoloso" a seconda che sia possibile o meno l'insorgenza di un'atmosfera esplosiva. I luoghi definiti pericolosi sono classificati in zone sulla base della frequenza e della durata delle condizioni di "atmosfera esplosiva". La classificazione prevede sei zone, 3 delle quali si riferiscono alle *miscele di aria e sostanze in forma di gas, vapore o nebbie*, le restanti 3 alle *polveri combustibili in aria* secondo lo schema riportato in figura 2. Sulle porte di accesso alle aree classificate deve essere affissa un'opportuna cartellonistica, dettagliatamente specificata all'allegato III della direttiva.

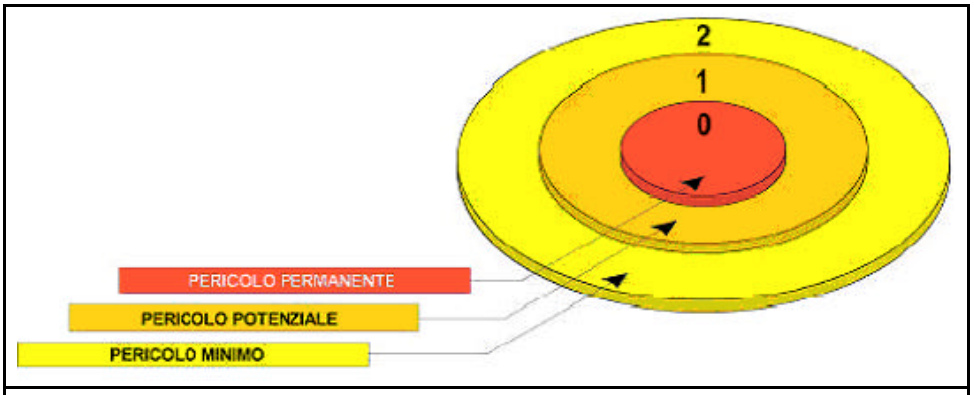


Fig. 2 Classificazione dei luoghi di lavoro in zone pericolose

- **Zona 20:** *Luogo nel quale una atmosfera esplosiva, in forma di una nube di polvere combustibile in aria è presente continuamente o per lunghi periodi o frequentemente;*
- **Zona 21:** *Luogo nel quale una atmosfera esplosiva, in forma di una nube di polvere combustibile in aria è probabile che si verifichi in normali condizioni di esercizio;*
- **Zona 22:** *Luogo nel quale una atmosfera esplosiva, in forma di una nube di polvere combustibile in aria non è probabile che si produca in condizioni normali di esercizio, ma se si produce persisterà solo per breve periodo.*

Inoltre, gli apparecchi appartenenti alle diverse classi di categorie (v. classificazione riportata nella Direttiva 94/9/CE), potranno essere utilizzati in zone ben identificate, in analogia con la seguente Tab.4.

Tab. 4 Relazione tra le categorie degli apparecchi del gruppo II e le zone a diverso rischio di esplosione da gas, vapori, nebbie e polveri

Categoria	Progettato per atmosfera esplosiva di tipo	Progettato per la zona	Applicabile anche alle zone
1	Miscela gas/aria Miscela vapore/aria Miscela nebbia/aria	0	1 e 2
1	Miscela polvere/aria	20	21 e 22
2	Miscela gas/aria Miscela vapore/aria Miscela nebbia/aria	1	2
2	Miscela polvere/aria	21	22
3	Miscela gas/aria Miscela vapore/aria Miscela nebbia/aria	2	-
3	Miscela polvere/aria	22	-

- apparecchi di categoria 1 (livello di protezione molto elevato) - zone 0 o 20;
- apparecchi di categoria 2 (livello di protezione elevato) - zone 1 o 21;
- apparecchi di categoria 3 (livello di protezione normale - zone 2 o 22).

In conclusione, in base a quanto emerso le responsabilità previste sono ripartite nel seguente modo:

- il costruttore dei dispositivi operanti in aree a rischio di esplosione deve conformarsi alla Direttiva 94/9/CE entro la data del 1 luglio 2003 e i propri prodotti dovranno avere il CE di tipo e la notifica di prodotto;
- l'utente di tali dispositivi, e cioè il datore di lavoro, deve valutare attentamente la sua zona di utilizzo e di conseguenza adottare materiale conforme alle ATEX utilizzandolo correttamente. Egli deve garantire la sicurezza durante eventuali riparazioni per assicurare continuità ai processi industriali e, dal 1 luglio 2003 o 2006 (a seconda dei casi precedentemente esposti), i suoi impianti dovranno ovviamente conformarsi alle direttive Europee; inoltre non potrà più acquistare e installare prodotti non conformi alla Direttiva 94/9/CE ATEX.

1.3 Classificazione dei luoghi con pericolo di esplosione per la presenza di polveri combustibili

Introduzione

Come noto, recentemente (luglio 2003 - contemporaneamente al recepimento della direttiva 99/92 CE) è stata tradotta in italiano la Norma EN 50281-3 (CEI 31-52) *"Classificazione dei luoghi dove sono o possono essere presenti polveri combustibili"* e, all'inizio del 2005, è stata pubblicata la relativa guida di applicazione, con la numerazione CEI 31-56.

In seguito alla pubblicazione dei predetti documenti è stata contestualmente abrogata la parte della "vecchia" Norma CEI 64-2 relativa ai luoghi di classe 2, cioè i luoghi pericolosi per presenza di polveri combustibili.

La situazione normativa attuale è riassunta in figura 3: la classificazione dei luoghi con pericolo di esplosione per la presenza di aeriformi è ora regolata dalla Norma CEI EN 60079-10 e dalla relativa Guida CEI 31-35. La classificazione dei luoghi con pericolo di esplosione per la presenza di polveri è di pertinenza della Norma CEI EN 50281-3 e della Guida CEI 31-56.

In definitiva, la Norma CEI 64-2 è stata quasi interamente abrogata: non sono più in vigore le parti relative ai luoghi di classe 1 e di classe 3 (aeriformi) e le parti relative ai luoghi di classe 2 (polveri). Vale ancora la Norma CEI 64-2 unicamente per la classificazione dei luoghi di classe 0, cioè quelli relativi alla presenza di esplosivi.

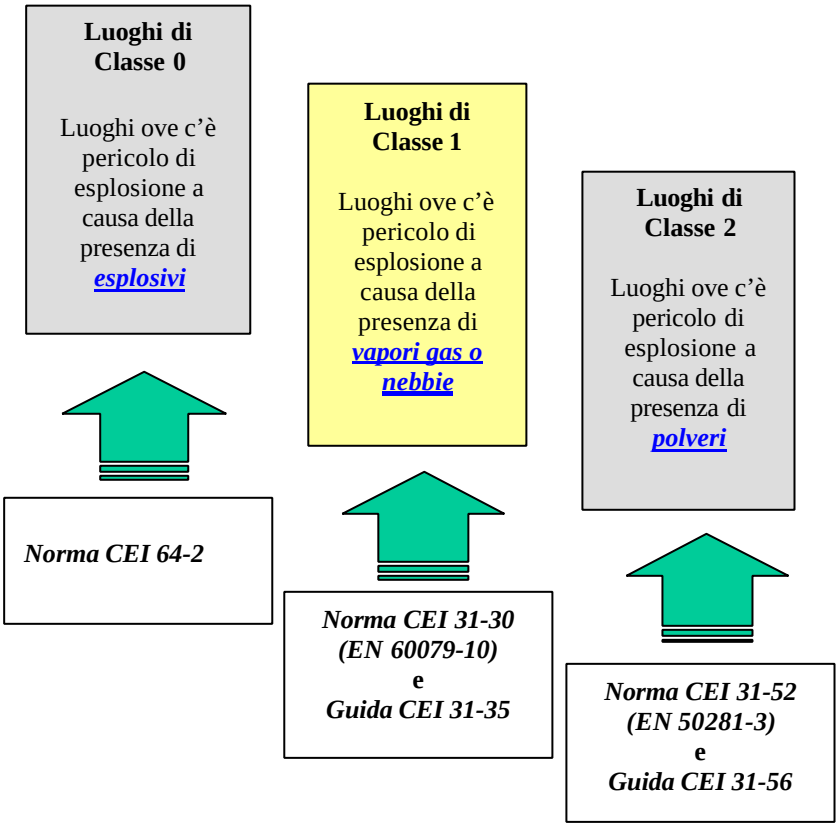

Luoghi di Classe 0
Luoghi ove c'è pericolo di esplosione a causa della presenza di esplosivi
Luoghi di Classe 1
Luoghi ove c'è pericolo di esplosione a causa della presenza di vapori gas o nebbie
Luoghi di Classe 2
Luoghi ove c'è pericolo di esplosione a causa della presenza di polveri
Norma CEI 64-2
Norma CEI 31-30 (EN 60079-10) e Guida CEI 31-35
Norma CEI 31-52 (EN 50281-3) e Guida CEI 31-56

Fig. 3 Schema della situazione normativa attuale

Nel seguito sono brevemente illustrate le principali novità introdotte dai nuovi documenti sulla classificazione dei luoghi per la presenza di polveri combustibili.

Sorgenti di emissione e tipo di zone

Come per i gas, anche per le polveri sono definiti i seguenti tre gradi dell'emissione:

- emissione di grado continuo: emissione continua o che può avvenire per lunghi periodi, oppure per brevi periodi a intervalli frequenti;
- emissione di primo grado: emissione che può avvenire periodicamente od occasionalmente durante il funzionamento normale;
- emissione di secondo grado: emissione che non è prevista durante il funzionamento normale e che se avviene è possibile solo poco frequentemente e per brevi periodi.

Le emissioni di grado continuo e di primo grado sono previste durante il funzionamento normale, quindi possono essere generalmente definite, sia come caratteristiche di emissione, sia come durata, sia come frequenza di emissione.

Un'emissione che avviene sia pure poco frequentemente e per brevi periodi, ma durante il funzionamento normale (ordinario) non può generalmente essere considerata di secondo grado; essa deve essere generalmente considerata di primo grado.

Le emissioni di secondo grado non sono previste durante il funzionamento normale, esse sono generalmente riconducibili solo ad eventi non voluti, quali ad esempio: le avarie e gli stati difettosi prevedibili, l'uso non corretto ragionevolmente prevedibile; pertanto, per definire la loro durata e frequenza, è necessario fare riferimento alle modalità di sorveglianza (esercizio) e manutenzione dei sistemi di contenimento delle sostanze infiammabili e dei relativi componenti.

Come previsto dalle direttive ATEX, le diverse emissioni (in relazione alle condizioni ambientali ed ai sistemi di bonifica adottati) danno luogo a tre diversi tipi di zona, aventi definizione del tutto analoga a quella già vista per i gas. Un coefficiente "2" anteposto al tipo di zona (0, 1, 2) ci dice che si sta trattando di polveri. Si ha quindi:

- Zona 20 Luogo in cui un'atmosfera esplosiva, sotto forma di una nube di polvere combustibile nell'aria, è presente in modo continuo, per lunghi periodi, o frequentemente;
- Zona 21 Luogo in cui è probabile sia presente un'atmosfera esplosiva, sotto forma di nube di polvere combustibile nell'aria, sporadicamente (occasionalmente) durante il funzionamento normale;
- Zona 22 Luogo in cui è improbabile sia presente un'atmosfera esplosiva, sotto forma di nube di polvere combustibile nell'aria, durante il funzionamento normale o, se ciò avviene, è possibile sia presente solo poco frequentemente e per breve periodo.

Strati

La presenza di tre tipi di zone rappresenta già di per sé una prima importante novità rispetto alle vecchie classificazioni effettuate con la Norma CEI 64-2, ove era previsto un unico tipo di zona (C2Z).

Una seconda importante differenza è costituita dalla valutazione degli strati di polvere presenti nell'ambiente. Si deve infatti considerare che, a differenza delle molecole di gas, le particelle di polvere

tendono, in un tempo più o meno lungo, a depositarsi al suolo. Ciò avviene, in modo evidente, nei pressi della sorgente di emissione, ma può avvenire, in misura minore, anche a molta distanza da essa. Nel tempo, se non rimossi, si possono formare strati di polvere notevoli anche nell'intero ambiente ove avviene l'attività "polverosa".
Uno strato di polvere rappresenta un pericolo per due ordini di ragioni:

- *lo strato di polvere come Sorgente di Emissione (SE) di atmosfera esplosiva.* Uno strato di polvere combustibile può produrre una nube esplosiva se la polvere viene, per qualche ragione dispersa nell'aria: ad esempio, può essere sollevata per l'azione del vento, il passaggio di un mezzo o a seguito di un'esplosione primaria che coinvolga altra polvere depositata nell'ambiente. In queste condizioni, lo strato è a tutti gli effetti una sorgente di emissione (SE).
- *lo strato di polvere come causa di incendio*. La formazione di depositi di polvere in strati è favorita dalle superfici orizzontali o leggermente inclinate e dagli angoli. Uno strato di polvere depositata sopra componenti che producono calore (es. componenti elettrici) peggiora il loro raffreddamento, con conseguente aumento della temperatura. Se la temperatura superficiale del componente dell'impianto supera la temperatura di accensione della polvere in strato, questa può innescarsi (lenta combustione detta anche combustione a brace avviene per ossidazione o per decomposizione della polvere) e produrre un incendio.

Non è esclusa la possibilità di presenza di polveri in strato incapaci di sollevarsi e, quindi di formare nubi esplosive. In tale caso sussiste solo il pericolo d'incendio (combustione a brace).

Il fatto che lo strato di polvere, sollevato da perturbazioni esterne, possa produrre una zona pericolosa dal punto di vista dell'esplosione, porta a trattare la zona in cui è presente lo strato come una sorgente di emissione, in modo del tutto analogo alle sorgenti di emissione "primarie". Il grado di emissione di una "SE - strato" è legato alla frequenza di formazione dello strato e alla frequenza del possibile disturbo (tipicamente si avranno emissioni di grado primo e secondo, sono in generale da evitare emissioni di grado continuo).

Lo strato di polvere dal punto di vista dell'innesco di incendio conduce inoltre, in tutta la zona interessata dallo strato, alla scelta di apparecchiature idonee. Un'apparecchiatura idonea è tale se la sua massima temperatura superficiale è inferiore (con un opportuno margine di sicurezza) alla temperatura di innesco dello strato. Come temperatura di riferimento per l'innesco dello strato si utilizza la temperatura di innesco di uno strato di 5 mm di spessore(T_{5mm}).

Dipendentemente dallo spessore dello strato considerato, le apparecchiature devono essere scelte secondo le seguenti regole, al fine di escludere il pericolo di innesco dello strato a causa della temperatura superficiale delle apparecchiature stesse:

- strati di spessore fino a 5 mm — Regola 1
- strati di spessore compreso tra 5 mm e 50 mm — Regola 2
- strati di spessore superiore a 50 mm — Regola 3 e Regola 4

La **Regola 1** si applica nel caso di spessore dello strato di polvere fino a 5 mm (CEI EN 50281-1-2, art. 6.2.1), cioè quando si presentano entrambi questi casi:

- sulla sommità dell'apparecchiatura possono formarsi strati di polvere di spessore non maggiore di 5 mm;
- si prevede che possano formarsi strati di polvere di spessore non maggiore di 5 mm attorno all'apparecchiatura (sui lati o sul fondo, almeno un lato deve essere libero).

In tal caso la temperatura superficiale massima ammessa delle apparecchiature deve essere uguale o inferiore alla temperatura minima di accensione relativa ad uno spessore 5 mm dello strato di polvere interessato T5 mm, ridotto di 75 K:

$$T_{max} = T_{5mm} - 75\ K$$

La **Regola 2** si applica nel caso di spessore dello strato di polvere tra 5 mm e 50 mm (CEI EN 50281-1-2, art. 6.2.1, 6.2.2), cioè quando si presentano tutti questi casi:

- sulla sommità dell'apparecchiatura possono formarsi strati di polvere di spessore maggiore di 5 mm e fino a 50 mm;
- si prevede che possa formarsi uno strato di polvere di spessore non maggiore di 5 mm attorno all'apparecchiatura (sui lati o sul fondo, almeno un lato deve essere libero);
- l'apparecchiatura non è completamente sommersa dalla polvere;
- la temperature minima di accensione è pari o superiori a 250°C riferita ad uno strato di polvere di 5 mm.

In tal caso, la temperatura superficiale massima ammessa delle apparecchiature (Tmax) deve essere ridotta come indicato in Fig.4:

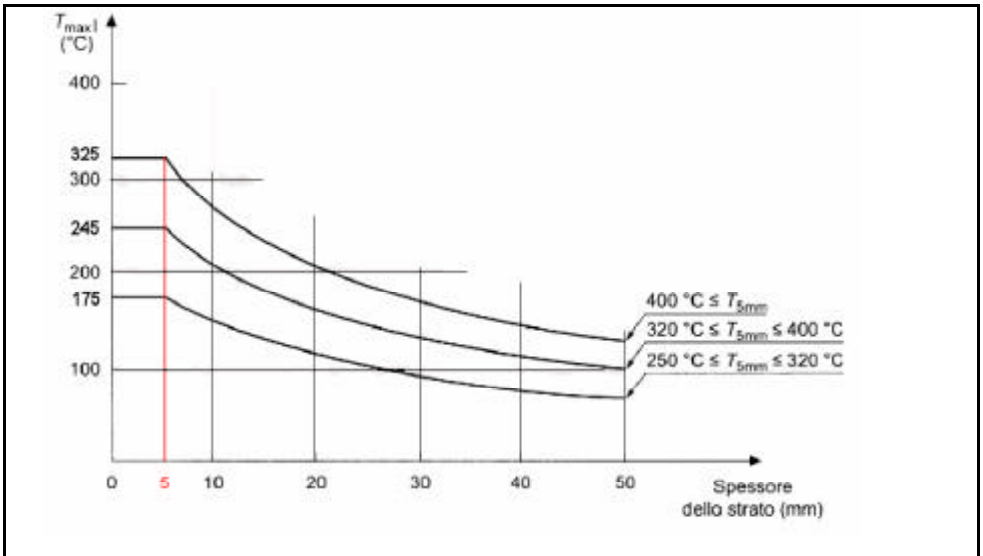


Fig.4 Regola 2 per la determinazione della massima temperatura di lavoro di un apparecchio sul quale si formano strati di polvere fino a 50 mm.

Per i prodotti completamente sommersi dalla polvere si applica la **Regola 3**, che prevede una determinazione sperimentale (simulazione delle condizioni di lavoro) o calcolata utilizzando metodi di calcolo riconosciuti.
Per temperature minime di accensione inferiori a 250°C ed in ogni caso dubbio o in cui sia richiesta una maggiore precisione, la temperatura minima di accensione, in funzione dello spessore dello strato di polvere, deve essere definita mediante indagine di laboratorio (**Regola 4**).

Nella valutazione degli strati riveste particolare importanza la gestione della pulizia. Uno strato può essere infatti notevolmente ridotto o eliminato da una idonea procedura di rimozione della polvere.

L'efficacia dei provvedimenti di pulizia degli ambienti è espressa dal parametro "*livello di mantenimento della pulizia*". Si considerano i seguenti tre livelli di mantenimento della pulizia come definiti nell'allegato C della Norma EN 50281-3 e qui di seguito riportati.

Buono → quando gli strati di polvere sono mantenuti a spessori trascurabili, oppure sono assenti, indipendentemente dal grado o dai gradi delle emissioni, oppure sono rimossi rapidamente in caso si formino poco frequentemente. In questo caso, il pericolo che si verifichino nubi di polveri esplosive dagli strati, e il pericolo d'incendio dovuto agli strati è escluso.

Adeguato→quando gli strati di polvere non sono trascurabili ma sono di breve durata, meno di un turno di lavoro, da intendersi di 8 h circa, comunque da definire sulla base dei fattori che contribuiscono alla formazione dello strato e della nube (es. portata complessiva di emissione, velocità di sedimentazione, velocità dell'aria, disturbi e turbolenze, ecc.). A seconda della stabilità termica della polvere e della temperatura superficiale dell'apparecchiatura, la polvere può essere rimossa prima dell'avvio di qualunque incendio. In questo caso le apparecchiature scelte secondo la Regola 1 sono ragionevolmente idonee. In questo caso, il pericolo che si verifichino nubi di polveri esplosive dagli strati, e il pericolo d'incendio dovuto agli strati non è escluso.

Scarso→ quando gli strati di polvere non sono trascurabili e perdurano per oltre un turno di lavoro. Il pericolo d'incendio può essere controllato selezionando le apparecchiature in funzione dello spessore degli strati di polvere, da definire caso per caso. In questo caso, il pericolo che si verifichino nubi di polveri esplosive dagli strati, e il pericolo d'incendio dovuto agli strati non è escluso.

Le Fig. 5 e 6 riassumono quanto precedentemente esposto circa la scelta delle apparecchiature.

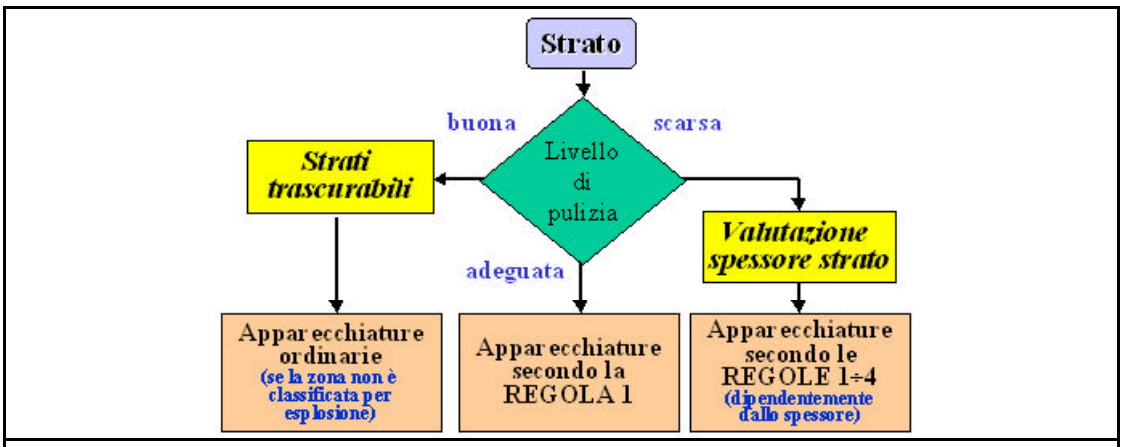


Fig. 5 Schema decisionale delle apparecchiature in funzione del livello di pulizia

Per determinare l'estensione dello strato di polvere si possono considerare le seguenti regole:

- per impianti preesistenti al 30 giugno 2003 può essere opportuno effettuare valutazioni sperimentali per definire l'estensione e lo spessore degli strati che si formano;
- in ambienti chiusi, a meno che non siano molto vasti in relazione all'emissione considerata, è buona regola estendere gli strati all'intero ambiente;
- negli ambienti aperti l'estensione degli strati è in generale limitata nell'intorno delle SE;
- l'estensione dello strato non può in ogni caso essere inferiore all'estensione in pianta della zona pericolosa originata dall'emissione dal sistema di contenimento.

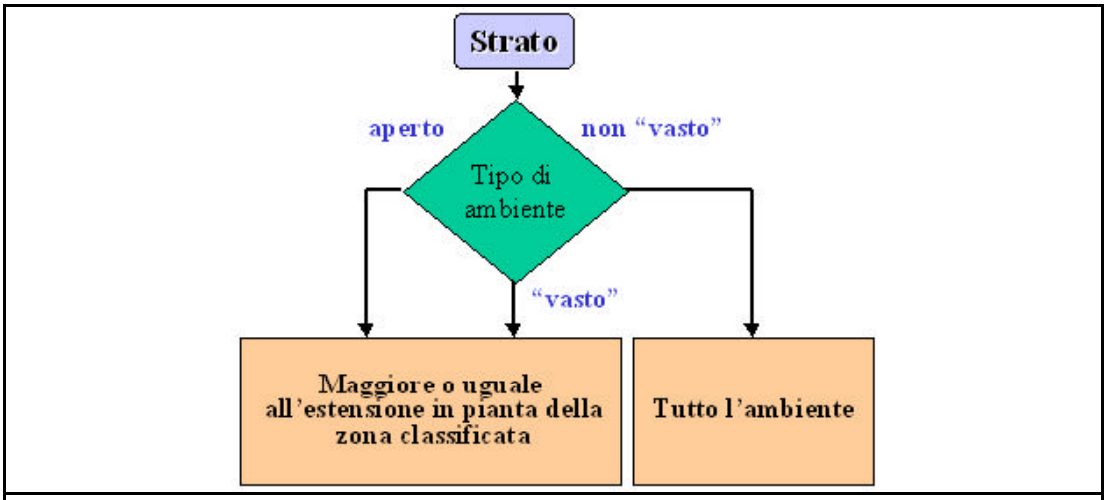


Fig. 6 Schema decisionale delle apparecchiature in funzione del tipo di ambiente

Estensione delle zone pericolose

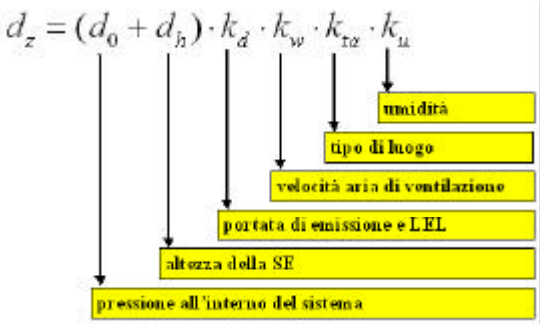
In generale, le zone 20 dovrebbero essere limitate ai volumi interni dei sistemi di contenimento e/o delle apparecchiature: le zone 20 all'esterno dei sistemi di contenimento dovrebbero pertanto essere evitate anche in considerazione del fatto che le condizioni che conducono ad una zona 20 sono proibite nei luoghi di lavoro. All'esterno delle apparecchiature, le zone 21 (ed eventualmente le zone 20 che non si possono eliminare) devono essere di ridotta estensione. Per tale ragione, la Guida CEI 31-56 indica per esse una dimensione "a" che non dovrebbe superare il metro.

Discorso diverso vale per le zone 22 che, essendo legate ad anomalie di funzionamento, possono in alcuni casi produrre l'emissione di notevoli quantitativi di polvere con estensione della zona superiore al metro.

Per le zone 22 la Guida CEI 31-56 (all'Appendice GD) prevede una semplice metodologia di calcolo dell'estensione della zona, legata ai parametri caratteristici della polvere e alle condizioni ambientali.

Tale metodologia può essere utilizzata, eccezionalmente, anche per le zone 20 e 21 ove non si riesca a limitare l'emissione di polvere.

L'appendice GD della guida prevede il calcolo della distanza pericolosa $\mathbf{d_z}$ (poi approssimata per eccesso a fornire la distanza "a") a partire da una distanza di riferimento $\mathbf{d_o}$ definita sulla base delle caratteristiche della polvere (grandezza media delle particelle, densità della sostanza considerata), della ventilazione presente nell'ambiente, della portata di emissione della SE, e di altri parametri, secondo la seguente relazione:


$d_z = (d_0 + d_h) \cdot k_d \cdot k_w \cdot k_{ta} \cdot k_u$
umidità
tipo di luogo
velocità aria di ventilazione
portata di emissione e LEL
altezza della SE
pressione all'interno del sistema

dove:

- d_0 distanza di riferimento [m];
- d_h distanza addizionale dipendente dall'altezza della SE [m];
- k_d coefficiente dipendente dal rapporto tra la portata di emissione Q_d della SE e il LEL della sostanza considerata;
- k_w coefficiente dipende dalla velocità dell'aria di ventilazione w nell'intorno della SE e dalla velocità di sedimentazione u_t.
- k_{ta} coefficiente relativo al tipo di ambiente;
- k_u coefficiente relativo al contenuto di umidità della polvere.

Distanza d_0

Per la definizione della distanza di riferimento d_o devono essere distinte due situazioni:

a) emissioni a bassa velocità (da sistemi a pressione atmosferica);
b) emissioni ad alta velocità (da sistemi in pressione).

Per le emissioni a bassa velocità (da sistemi a pressione atmosferica) la distanza di riferimento d_0 può essere generalmente assunta di 1 m. Negli altri casi la distanza di riferimento d_0 può essere ricavato dai grafici delle Fig. 7 e 8, i quali indicano la distanza, in metri, cui può pervenire la polvere, considerando una SE in prossimità (fino a 3 m) della superficie di deposito (es. suolo, pavimento, o superficie che delimita inferiormente la caduta della polvere), in funzione della grandezza media delle particelle dm [m] e della densità (assoluta) della polvere considerata.

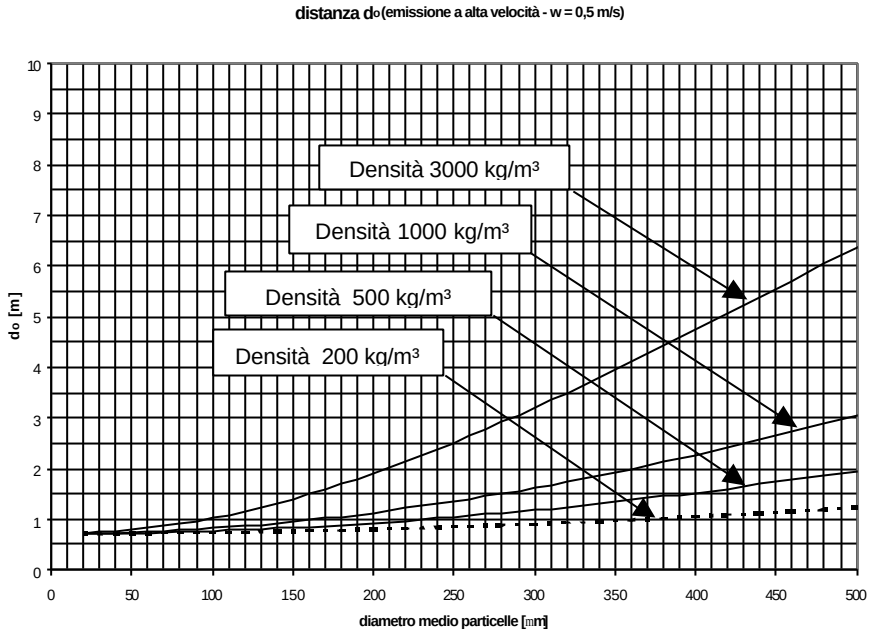

distanza do (emissione a alta velocità - w = 0,5 m/s)
Densità 3000 kg/m³
Densità 1000 kg/m³
Densità 500 kg/m³
Densità 200 kg/m³
do [m]
diametro medio particelle [mm]

Fig. 7 - Distanza di riferimento d_o per SE in prossimità del suolo (velocità dell'aria w 0,5 m/s)

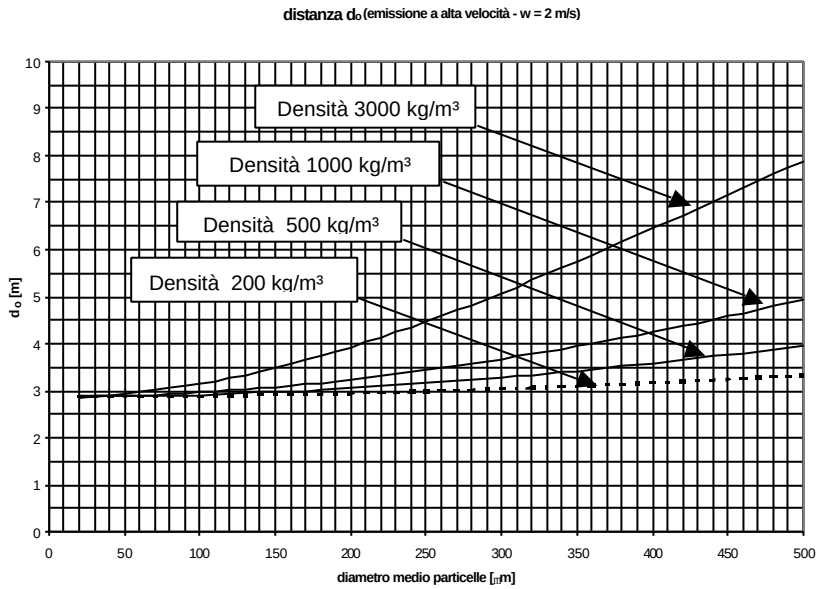

distanza do (emissione a alta velocità - w = 2 m/s)
Densità 3000 kg/m³
Densità 1000 kg/m³
Densità 500 kg/m³
Densità 200 kg/m³
do [m]
diametro medio particelle [mm]

Fig. 8 - Distanza di riferimento d_o per SE in prossimità del suolo (velocità dell'aria w 2 m/s)

Distanza d_h

Quando la SE non si trova in prossimità (oltre 3 m) della superficie di deposito (es. suolo, pavimento, o superficie che delimita inferiormente la caduta della polvere), alla distanza di riferimento d_o deve essere aggiunta la distanza d_h dipendente dall'altezza della SE, che può essere ricavata dalla tabella 5.1:

Tab 5.1 Riferimenti per il calcolo della distanza d_h

Condizione	**d_h [m]**
Se $h \geq 20$ m	1
Se $20 \text{ m} > h > 3$ m	0,5
Se $h \leq 3$ m	0

dove:

h altezza della SE dalla superficie di deposito (es. suolo, pavimento, o superficie che delimita inferiormente la caduta della polvere), [m]

Coefficiente k_d

Il coefficiente k_d dipende dal rapporto tra la portata di emissione Q_d della SE e il LEL della sostanza considerata, tenuto conto della velocità di sedimentazione u_t. I valori di k_d sono indicati nella tabella 5.2:

Tab 5.2 Riferimenti per il calcolo della distanza k_d

Condizione	**k_d**
Se $\frac{LEL*10^{-3}*u_t*d_0^2}{2*Q_d} > 10$	0,5
Se $\frac{LEL*10^{-3}*u_t*d_0^2}{2*Q_d} \leq 10$	1

dove:

LEL limite inferiore di esplodibilità [g/m³]

u_t velocità di sedimentazione [m/s];

d_o distanza di riferimento [m];

Q_d portata di emissione della SE [kg/s].

In funzione della propria velocità di sedimentazione (caduta) Ut , la polvere può depositarsi rapidamente oppure rimanere sospesa in aria per un lungo periodo.

La velocità di sedimentazione è espressa dalla seguente relazione:

$$u_t = \frac{r \cdot \left(d_m \cdot 10^{-6}\right)^2 \cdot g}{18 \cdot m}$$

dove:

u_t	è la velocità di sedimentazione della polvere [m/s]
ρ	è la densità (assoluta) della polvere [kg/m³]
d_m	è la grandezza media delle particelle [m]
g	è l'accelerazione di gravità [9,81 m/s²]
μ	è il coefficiente di viscosità dinamica dell'aria [1,8 10-5 Ns/m²]

Coefficiente k_w

Il coefficiente k_w dipende dalla velocità dell'aria di ventilazione w nell'intorno della SE e dalla velocità di sedimentazione u_t; esso può essere ricavato dalla tabella 5.3:

Tab 5.3 Riferimenti per il calcolo della distanza k_w

Condizione	**k_w**
Se $\frac{w}{u_t} > 5$	3
Se $5 > \frac{w}{u_t} > 3$	2
Se $\frac{w}{u_t} \leq 3$	1

dove:

ut	velocità di sedimentazione [m/s]
w	velocità dell'aria di ventilazione nell'intorno della SE [m/s]

In pratica, il coefficiente k_w produce un aumento della distanza a cui può giungere la polvere, in considerazione del rapporto tra la velocità dell'aria di ventilazione (W) e la velocità propria delle particelle di polvere (assunta pari alla velocità di sedimentazione, u_t), come illustrato dalla seguente figura:

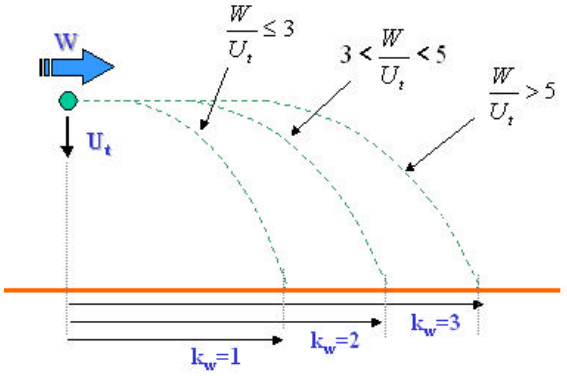


Fig. 9 Aumento del coefficiente k_w in funzione della velocità dell'aria di ventilazione e la velocità propria delle particelle di polvere

Coefficiente k_{ta}

Il coefficiente k_{ta} dipende dal tipo di ambiente in cui avviene l'emissione e può essere ricavato dalla tabella 5.4:

Tab 5.4 Riferimenti per il calcolo del coefficiente k_{ta}

Tipo di ambiente	Campo di variazione del Coefficiente	Coefficiente consigliato
Aperto	da 0,5 a 0,70	0,5
Aperto con ostacoli	da 0,7 a 1,0	0,8
Chiuso	da 1,0 a 1,2	1,0

Coefficiente k_u

Il coefficiente relativo al contenuto di umidità della polvere k_u può essere ricavato dalla tabella 5.5:

Tab 5.5 Riferimenti per il calcolo del coefficiente k_u

Contenuto di umidità della polvere, valore %	Campo di variazione del Coefficiente	k_u
dal 40% al 50%	da 0,3 a 0,5	0,3
dal 12% al 40%	da 0,5 a 1,0	0,8
inferiore al 12%	da 1,0 a 1,2	1,0

1.4 Normative in materia di sicurezza delle macchine

La Direttiva Macchine ed i Comitati Tecnici Il Trattato di Roma del 1957 ha costituto il momento di formazione della Comunità Economica Europea, ed e' alla base della costituzione del Mercato Comune Europeo. Il progresso verso l'eliminazione delle barriere commerciali relativamente ai prodotti dei Paesi membri e' stato tuttavia molto lento, a causa della difficoltà di giungere ad un accordo su un grandissimo numero di aspetti tecnici, accordo peraltro indispensabile per sviluppare standard comuni sulle caratteristiche dei prodotti.

Un nuovo e determinante impulso verso la libera commercializzazione fra i Paesi membri e' stato ottenuto grazie alla ratificazione, nel 1985, del Single European Act. Tale Atto ha modificato il Trattato di Roma, in particolare agli artt.100 e 118:

a. introducendo il concetto che come criterio incontrovertibile di conformità andava considerato il rispetto della sicurezza: ove tale aspetto risulti conforme agli standard approvati dalla Comunità stessa, risulta illegittima l'applicazione di barriere alla libera introduzione sul mercato nazionale di prodotti importati da altri Stati membri;
b. sollecitando lo sviluppo di direttive in materia di sicurezza e salute da emanarsi a cura del Consiglio della Comunità.

Sebbene concepite per ragioni di libero scambio commerciale, le Direttive di questo tipo stabiliscono i Requisiti Essenziali di Sicurezza RES (ESRs Essential Safety Requirements) cui i prodotti devono adeguarsi, e pongono, trascorso un determinato transitorio, fuori commercio tutti i prodotti non conformi.

L'impostazione delle direttive consiste nel definire riferimenti relativamente alle esigenze massime e minime in materia di sicurezza, basandosi sulla identificazione dei pericoli, ma senza fornire specifiche tecniche di dettaglio, compito quest'ultimo demandato agli standard tecnici specifici.

Tra i risultati più importanti e di maggiore impatto sono certamente da considerarsi:

a. la Direttiva 89/391 del 12 giugno 1989 che tratta di prescrizioni minime intese al miglioramento della tutela della sicurezza e della salute dei lavoratori, e disciplina su un piano generale la materia, sia pure entro i limiti *minimi*, integrata da una serie di 13 direttive "figlie" che considerano più approfonditamente vari aspetti della questione od attività particolari;
b. la Direttiva 89/392 del 14 giugno 1989 ([1]), finalizzata al ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative alle macchine.
   Tale direttiva (con le successive integrazioni) è Stata recepita in Italia col DPR 459 del 24 luglio 1996: *Regolamento per l'attuazione delle direttive 89/392/CEE, 91/368/CEE, 93/44/CEE, 93/68/CEE concernenti il riavvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative alle macchine.*

[1] successivamente sostituita dalla Direttiva 98/37/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 22 giugno 1998 *concernente il ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative alle macchine* (Gazzetta ufficiale n. L 207 del 23/07/1998) che peraltro non ha per il momento comportato modifiche al recepimento nazionale.

1.4.1. La Direttiva Macchine ed i Comitati Tecnici

La Direttiva Macchine copre un campo estesissimo: nello spirito cui si e' fatto cenno, non stabilisce soluzioni tecniche di dettaglio - neppure nell'allegato 1 che peraltro costituisce il punto basilare di partenza: *requisiti essenziali di sicurezza e di salute relativi alla progettazione e alla costruzione delle macchine* - ma fa esplicito riferimento ai pericoli di cui bisogna tenere conto ***sin dalla fase di progettazione*** nell'ipotesi di un impiego appropriato del prodotto. ***Il produttore, per poter apporre il marchio di conformita', deve dimostrare di aver seguito le prescrizioni della direttiva in termini tecnici e per quanto concerne la documentazione di appoggio, comprese le istruzioni di installazione, manutenzione, ecc..***

La Direttiva stessa identifica alcune tipologie di macchine che richiedono una analisi dedicata, il che ha dato origine alla istituzione di Comitati Tecnici cui hanno diritto di partecipare i rappresentanti dei Paesi membri, allo scopo di produrre norme specifiche armonizzate: tale compito e' affidato ai Comitati CEN, CENELEC, ecc., che devono operare tenuto anche conto - secondo l'accordo di Vienna - di quanto sviluppato dall'I.S.O. (International Standard Organization).

Il mandato del CEN (Comitato Europeo di Normalizzazione) per la produzione di standard tecnici ([2]) a supporto della Direttiva Macchine prevede la produzione di tre differenti categorie di standard, secondo quanto compendiato in Tabella 6:

---

[2] in particolare di Norme Tecniche Armonizzate, da pubblicarsi sulla Gazzetta Ufficiale della Comunita' Europea. Tali norme, seppur di applicazione volontaria, comportano la presunzione di sicurezza di una macchina ad esse conforme: e' quindi evidente il ruolo fondamentale di questi standard, preparati con il coinvolgimento di tutte le parti interessate, per sostenere i requisiti essenziali della Direttiva. Al momento sono operativi circa 40 Comitati tecnici per la preparazione di oltre 550 norme (fonte UNI) con il coinvolgimento diretto od indiretto dell'industria e di organismi governativi, economici, professionali e scientifici dei Paesi dell'Unione e di quelli dell'area di libero scambio EFTA. L'approvazione avviene con voto ponderato ed il testo deve obbligatoriamente essere recepito dagli Enti normatori dei Paesi membri (per l'Italia UNI o CEI). Naturalmente la efficacia dello standard e' in parte condizionata proprio dalla compresenza di esperti di varia matrice e di vari paesi, pena il grave rischio di avvalorare in modo acritico tradizioni industriali pregresse.

Tab. 6 Tipi di standard previsti e contenuti caratterizzanti

Norme A: generali - valide indistintamente per tutte le macchine. Rientrano in questa categoria::

a. **norme di carattere generale che danno soluzioni valide per tutti i tipi di macchine (es. le due parti della EN 292 *Concetti base per la sicurezza delle macchine e principi generali per la progettazione*, già armonizzate e richiamate da tutte le norme di tipo C);**
b. **norme terminologiche;**
c. **norme per i normatori, che forniscono istruzioni per la preparazione delle norme tipo B e C.**

Norme B: aspetti e dispositivi di sicurezza: possono essere adoperate da chi prepara le norme C specifiche. Si dividono in :

***norme B1* - aspetti di sicurezza (es. distanze di sicurezza, principi ergonomici, prestazioni fisiche richieste, ecc.);**

***norme B2* - dispositivi o componenti di sicurezza (es. segnali acustici o visivi, comando a due mani, ripari, ecc.).**

Norme C: Sicurezza di macchine o famiglie di macchine. Una norma C deve contenere:

a. **una chiara identificazione delle macchine considerate;**
b. **una lista di potenziali pericoli da esse derivanti, i requisiti e le misure di sicurezza da adottare, cioè l'indicazione di come applicare i requisiti di sicurezza inclusi nell'Allegato 1 della Direttiva Macchine;**
c. **le verifiche da applicare per sincerarsi che la condizione di sicurezza sia stata raggiunta;**
d. **l'indicazione delle informazioni specifiche che devono esse fornite con la macchina.**

NOTA: gli standard tecnici in nessun caso comportano un "congelamento" del progresso in materia di sicurezza: al riguardo si richiama:

- quanto esplicitato in [Commenti alla direttiva 98/37/CE, Commissione delle Comunità Europee, Lussemburgo, ed.1999] al punto 175 *"Presunzione di conformità e controllo delle macchine: "Le norme armonizzate consentono ai responsabili del controllo di garantire alle macchine che rispettano i requisiti essenziali fissati dalle direttive interessate una presunzione di conformità ad esse. Ciò non significa naturalmente presumere che una macchina non conforme alle norme non sia conforme alla direttiva. Le norme non sono obbligatorie e il fabbricante potrà sempre ricorrere ad altri mezzi per soddisfare i requisiti essenziali.* ***In ogni caso, come sottolineato in precedenza, il fabbricante ha l'obbligo di rispettare le norme tecniche di sicurezza dettate dallo stato dell'arte della sua professione o derivanti dal diritto comune in materia di contratti".***
- quanto previsto dalla stessa Direttiva 98/37/CE in materia di procedure di revisione delle norme (Articolo 6. 1.: *"Se uno Stato membro o la Commissione ritengono che le norme armonizzate di cui all'articolo 5, paragrafo 2, non soddisfino pienamente i rispettivi requisiti essenziali di cui all'articolo 3, la Commissione o lo Stato membro adiscono il comitato permanente istituito dalla direttiva 83/189/CEE, esponendo i loro motivi. Il comitato esprime un parere d'urgenza. In base al parere del comitato, la Commissione notifica agli Stati membri la necessità di procedere o meno al ritiro delle norme in questione dalle pubblicazioni di cui all'articolo 5, paragrafo 2".*

1.4.2. Il D.P.R. 24 luglio 1996 n.459

Di seguito si richiamano i titoli degli allegati 1 (Requisiti Essenziali di Sicurezza) e 2 (dichiarazione "CE" di conformità).

ALLEGATO I (ex art. 2, comma 1) **REQUISITI ESSENZIALI DI SICUREZZA E DI SALUTE *INDEROGABILI (C.2)*** **RELATIVI ALLA PROGETTAZIONE E ALLA COSTRUZIONE DELLE MACCHINE E DEI COMPONENTI DI SICUREZZA**	
1. requisiti essenziali di sicurezza e di salute	
2. requisiti essenziali di sicurezza e di salute per talune categorie di macchine	
3. requisiti essenziali di sicurezza e di tutela della salute per ovviare ai rischi particolari dovuti alla mobilita' delle macchine	
4. requisiti essenziali di sicurezza e di tutela della salute per prevenire i rischi particolari dovuti a un'operazione di sollevamento	
5. requisiti essenziali di sicurezza e di salute per le macchine destinate a essere utilizzate nei lavori sotterranei	
6. requisiti essenziali di sicurezza e di salute per evitare i rischi particolari connessi al sollevamento e allo spostamento delle persone	
NOTE	**OVVIAMENTE, QUALORA PER UN DETERMINATO TIPO DI MACCHINA SIANO DISPONIBILI STANDARD TECNICI DI TIPO C, LE PREDETTE INDICAZIONI DI MACCHINA ED ACCESSORIO VI SONO ESPLICITATE IN DETTAGLIO O COMUNQUE RICHIAMATE CON RINVIO AD ALTRA NORMA SPECIFICA.**

ALLEGATO II (ex art. 2, comma 2 lettera a)
A. contenuto della dichiarazione "CE" di conformità per le macchine
B. contenuto della dichiarazione del fabbricante o del suo mandatario stabilito nella comunità
C. contenuto della dichiarazione "CE" di conformità per i componenti di sicurezza immessi sul mercato separatamente

2 Criterio di analisi e gestione del rischio

2.1 Metodologia di riferimento ([3])

Un possibile approccio di provata efficacia alla analisi della sicurezza sul lavoro in fase operativa e' stato sviluppato in [L.Faina; M.Patrucco; D.Savoca: "*La valutazione dei rischi ed il documento di sicurezza e salute nelle attività estrattive a cielo aperto* [Min. Industria, Commercio ed Artigianato, Politecnico di Torino, C.N.R. Firget, Regione Piemonte]", European Commission S.H.C.M.O.E.I. - Workshop on Risk Assessment, Gubbio, 20-23 giugno 1996 - Guidelines for risk assessment in Italian mines pubbl. in Doc. N° 5619/96 EN - S.H.C.M.O.E.I., Luxembourg, 17 July 1996. pp. 47-71, e in Doc. N° 5619/1/96 EN - S.H.C.M.O.E.I., Luxembourg, 17 January 1997, pp. 46-71.].

Tale approccio e' stato successivamente:

- ✓ formalizzato per il comparto in [Bollettino ufficiale Regione Lombardia, giovedì 21 febbraio 2002 (2° suppl ord al n.8).];
- ✓ verificato nella sua adeguatezza anche per il settore costruzioni, illustrato nell'ambito del Gruppo di lavoro Macchine istituito dalla Regione Piemonte, Assessorato Sanità e riproposto alla stessa nel documento *metodologia di riferimento per analisi e gestione del rischio* (luglio 2002)

I passi logici della analisi sono compendiati nello schema seguente che raffigura il percorso dalla valutazione di fattibilità alla conservazione e miglioramento della sicurezza in una attività in esercizio.

[3] La metodologia qui presentata e' – ovviamente- già stata introdotta nel precedente volume: la si ripropone per chiarezza formale dato che su di essa si basa tutta la impostazione anche del lavoro qui presentato

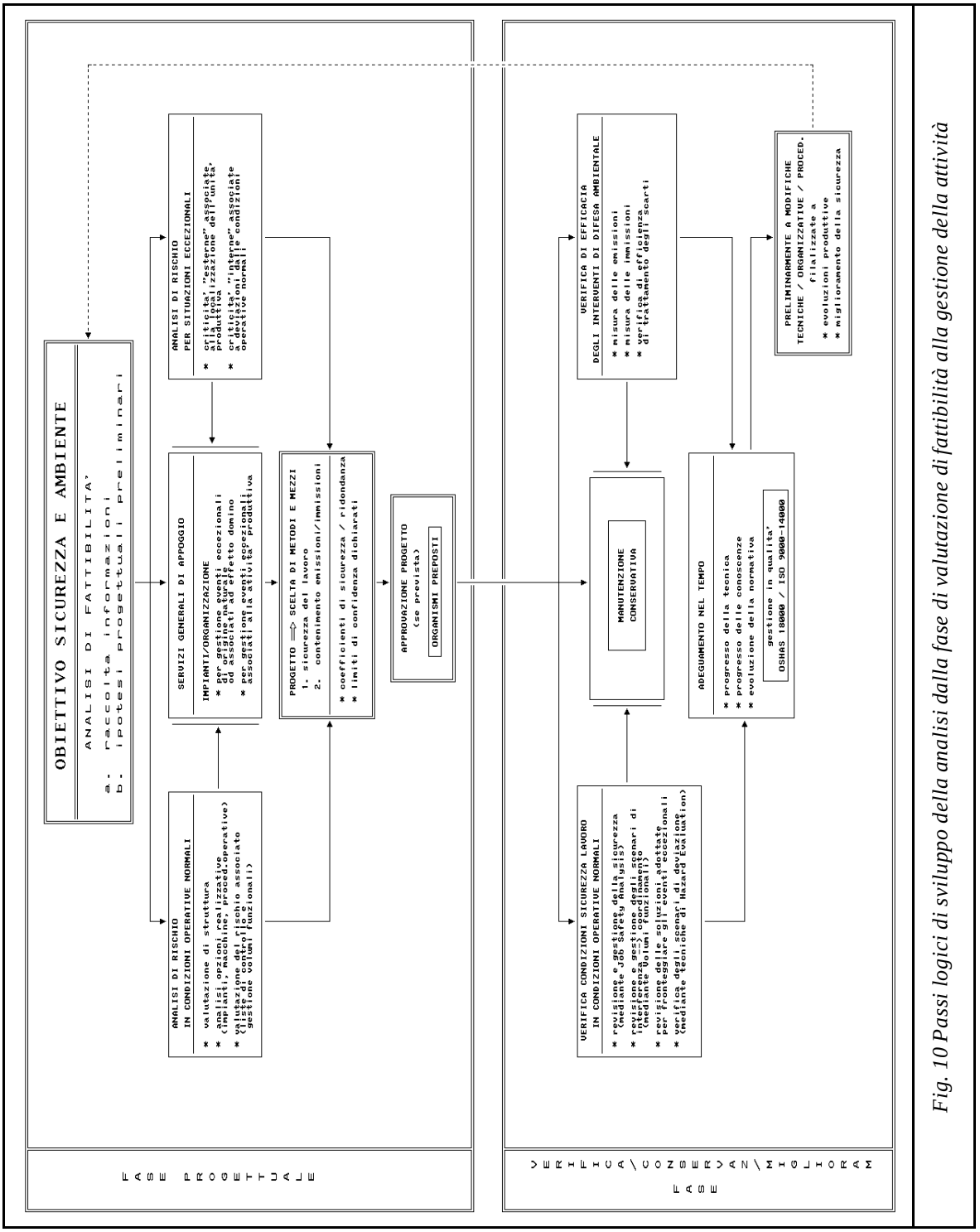

FASE PROGETTUALE
OBIETTIVO SICUREZZA E AMBIENTE
ANALISI DI FATTIBILITA'
a. raccolta informazioni
b. ipotesi progettuali preliminari
ANALISI DI RISCHIO IN CONDIZIONI OPERATIVE NORMALI
* valutazione di struttura
* analisi opzioni realizzative (impianti, macchine, proced.operative)
* valutazione del rischio associato gestione volumi funzionali
SERVIZI GENERALI DI APPOGGIO
IMPIANTI/ORGANIZZAZIONE
* per gestione eventi eccezionali da associare all'effetto domino
* per gestione eventi eccezionali associati alla attivita' produttiva
ANALISI DI RISCHIO PER SITUAZIONI ECCEZIONALI
* criticita' "esterne" associate produttiva/localizzazione dell'unita'
* criticita' "interne" associate a deviazioni dalle condizioni operative normali
PROGETTO ⟹ SCELTA DI METODI E MEZZI
1. sicurezza del lavoro
2. contenimento emissioni/immissioni
* coefficienti di sicurezza / ridondanza
* limiti di confidenza dichiarati
APPROVAZIONE PROGETTO (se prevista)
ORGANISMI PREPOSTI
VERIFICA/CONFRONTO FASE SERVIZI/MIGLIORAMENTO
VERIFICA CONDIZIONI SICUREZZA LAVORO IN CONDIZIONI OPERATIVE NORMALI
* revisione e gestione della sicurezza (mediante Job Safety Analysis)
* revisione e gestione degli scenari di interferenza/condizionamento (mediante Volumi Funzionali)
* revisione delle soluzioni adottate per fronteggiare gli eventi eccezionali
* verifica degli scenari di deviazione (mediante analisi del Hazard Evaluation)
MANUTENZIONE CONSERVATIVA
VERIFICA DI EFFICACIA DEGLI INTERVENTI DI DIFESA AMBIENTALE
* misura delle emissioni
* misura delle immissioni
* verifica di efficienza di trattamento degli scarti
ADEGUAMENTO NEL TEMPO
* progresso della tecnica
* progresso delle conoscenze
* evoluzione della normativa
gestione in qualita' OSHAS 18000 / ISO 9000-14000
PRELIMINARMENTE A MODIFICHE TECNICHE / ORGANIZZATIVE / PROCED. filizzate a
* evoluzioni produttive
* miglioramento della sicurezza

Fig. 10 Passi logici di sviluppo della analisi dalla fase di valutazione di fattibilità alla gestione della attività

In Tabella 7 sono compendiati i principi generali e gli aspetti applicativi particolari della tecnica:

Tab 7 Definizioni e principi su cui si fonda la tecnica	
Pericolo	*situazione che racchiude potenzialità di generare eventi dannosi (pericolosità = proprietà o qualità intrinseca di una determinata entità [agente materiale o fattore di rischio] -per esempio materiali, macchine od attrezzature, metodi e pratiche di lavoro, agenti fisici, ecc.- avente il potenziale di causare danni in assenza di soluzioni preventive adeguate).*
Evento dannoso	*evento che produce un danno a persone, fisico, economico, ambientale (morale). In linea di massima gli eventi dannosi hanno vari livelli di prevedibilità, funzione del grado di conoscenza*
Identificazione dei pericoli	*schedatura di tutti i materiali, sistemi, processi, impianti ed operatori che possono produrre un evento dannoso.*
Danno probabile M	*prodotto di due fattori, il primo (pd) esprimente la entità del possibile danno (morte, lesioni, ecc., …), il secondo (fc) la possibilità di interferenza (o fattore di contatto), funzione della durata percentuale dell'esposizione a situazioni od operazioni potenzialmente pericolose rispetto al ciclo di lavorazione;*
Probabilità di accadimento F	*probabilità che l'evento scatenante si verifichi* *Un approccio particolarmente conveniente è costituito dalla introduzione della Probabilità relativa di accadimento PR, espressa dal rapporto:* $PR = \frac{probabilità\ accadimento\ eventi\ dannosi\ (situazione\ in\ esame)}{probabilità\ minima\ accadimento\ (secondo\ norme\ tecniche\ aggiornate)}$
RISCHIO	***in termini generici si conviene*** che il rischio sul lavoro sia la possibilità che un lavoratore subisca un danno in connessione all'attività svolta **più precisamente** il Rischio può essere definito come ***dimensione prevedibile delle conseguenza di un evento dannoso, espressa dal prodotto:*** ***RISCHIO = danno probabile derivante dall'evento M ´ probabilità di accadimento dell'evento F*** ***SI NOTI CHE, QUALORA*** ❑ ***LA ENTITA' DEL DANNO VENGA ESPRESSA IN GIORNATE LAVORATIVE PERDUTE / 7500 [%],*** ❑ ***IL FATTORE DI CONTATTO IN % SUL TURNO,*** ❑ ***CI SI AVVALGA DELLA PROBABILITA' RELATIVA DI ACCADIMENTO*** ***SI PERVIENE AD UNA VALUTAZIONE NUMERICA DEL RISCHIO ESENTE DA SOGGETTIVITA' DI STIMA***

<table>
<tr><td rowspan="4">GESTIONE DEL RISCHIO</td><td colspan="3">Insieme delle azioni cui dar luogo per la eliminazione o minimizzazione del rischio.
Per la gestione del rischio occorre attuare le fasi seguenti:
a. identificazione di <u>tutti</u> i pericoli: problema nodale nella realizzazione della sicurezza in qualsiasi attività produttiva; è ovvio che una causa di infortunio o malattia professionale non correttamente identificata non può essere analizzata, nè il connesso rischio valutato e soprattutto gestito in modo efficace;
b. analisi dei rischi: valutazione <u>quantitativa</u> del danno probabile e delle probabilità di accadimento degli eventi: di qui la evidente convenienza dell'uso di PR (= 1 se la situazione e' coerente con il rispetto delle prescrizioni normative e l'adeguamento al progresso della tecnica e delle conoscenze);
c. pesatura dei rischi: ordinamento gerarchico dei risultati della analisi di rischio, indispensabile per pianificare in termini di priorità gli interventi correttivi;
d. eliminazione o minimizzazione del rischio: attuazione di misure di:</td></tr>
<tr><td></td><td>· prevenzione</td><td>Interventi tecnici, organizzativi o procedurali volti modificare la probabilità di accadimento od il fattore di contatto;</td></tr>
<tr><td></td><td>· protezione</td><td>Soluzione di ripiego, volta a mitigare l’entità del danno.</td></tr>
</table>

	Osservazioni 1. a prescindere dagli usuali accorpamenti per classificazione "amministrativa" *ai fini della analisi di rischio spesso non esistono due situazioni uguali*: ne consegue la necessità di analisi dedicata a ciascuna situazione. 2. un possibile approccio per la identificazione dei fattori di rischio si fonda sui passi seguenti: 2.1. *analisi di struttura,* 2.2. *analisi di sicurezza delle singole attività lavorative (ad esempio mediante **Job Safety Analysis (v. schemi seguenti)**);* 2.3. *identificazione e gestione delle interferenze (ad esempio mediante Analisi degli Spazi Funzionali).* 2.4. *Analisi di deviazioni (guasti) con tecniche di Hazard Evaluation* La minimizzazione dei rischi ineliminabili trova compimento direttamente in fase di analisi nell'attuazione di quanto prescritto dalle normative e regole di buona tecnica di comparto aggiornate (*prevenzione proattiva*), tenuto conto che il livello di prevenzione concretamente raggiungibile dipende in sostanza da: a. *impostazione generale dei luoghi e delle organizzazioni di lavoro;* b. *selta (realizzazione), modalità di utilizzazione, manutenzione di macchine e attrezzature secondo quanto previsto in materia di adeguamento tecnico-tecnologico;* c. *formazione ed informazione dei soggetti nel luogo di lavoro, e loro partecipazione al processo organizzato di prevenzione.*

	NOTE	▫ **naturalmente in fase di valutazione occorre preliminarmente avere garantito una corretta analisi e di struttura e la organizzazione dei vari servizi di appoggio (pronto soccorso, coordinamento, ecc.) a seconda del contesto.** ▫ **le misure eventualmente poste in atto in fase transitoria devono garantire con certezza che non rimangano in atto situazioni contrarie a quanto stabilito dal D.Lgs 626/94 agli artt. 3 e 4, e l'impiego dei D.P.I. non può sostituirsi ad interventi tecnici, organizzativi o procedurali di riduzione del rischio. Questo deve necessariamente essere ridotto al minimo, tale minimo essendo stabilito quanto meno da ciò che in materia di macchine ed attrezzature è reperibile sul mercato alla data dell'analisi.**

JOB SAFETY ANALYSIS: - 1 - presupposti per l'impiego della JSA

a. → **deve essere gia' stata completata la analisi di struttura:** identificazione/definizione di criticita' specifiche dei luoghi di lavoro, impiantistica di base, qualifica e formazione professionale dei lavoratori, impianti, strumenti, procedure e formazione per la gestione delle emergenze generali

b. → **si ipotizza la presenza di un solo addetto operativo nell'area interessata:** non sono in questa fase considerate le possibili interferenze fra persone, mezzi o macchine diverse. Tale approccio semplifica il lavoro e demanda la soluzione dei problemi di coordinamento alla messa a punto di adeguate misure organizzative e procedurali da parte della direzione:

- ❑ → *a livello generale con criteri di corretta gestione dei volumi funzionali (passaggi riservati, aree escluse, ecc.)*
- ❑ → *in casi contingenti con opportuni ordini di servizio*

IN QUESTO MODO VENGONO EVITATE REGOLE GENERICHE PRIVE DI EFFICACIA PRATICA.

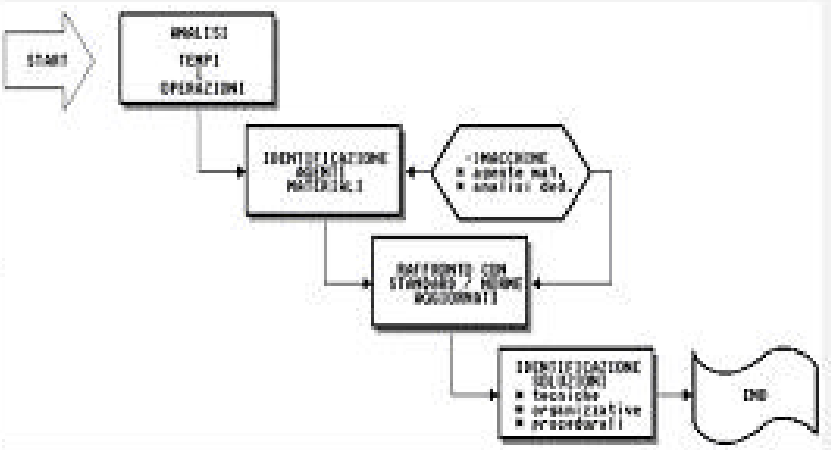
c. → **e' necessaria una attiva collaborazione da parte dei lavoratori,** per esperienza a conoscenza di dettagli e comportamenti che sovente sfuggono ad un osservatore esterno. La informazione sulla natura dei pericoli ed il coinvolgimento degli operatori nella fase di identificazione dei potenziali pericoli e delle soluzioni comporta inoltre un loro maggior impegno nel rispetto delle scelte procedurali.

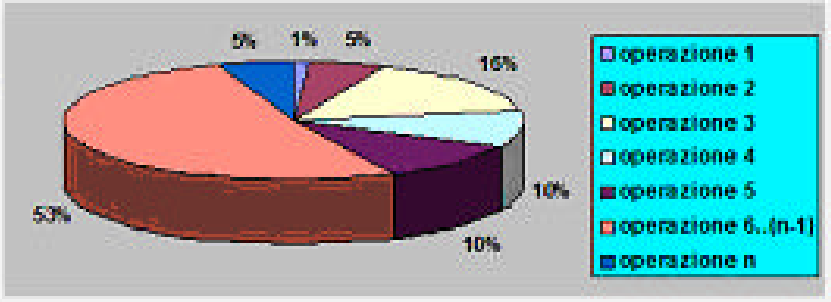
d. → **le operazioni eccezionali** anche qualora siano condotte dallo stesso addetto devono essere oggetto di analisi analoga, ma dedicata (es. interventi non correnti su macchine ed impianti)

- ❑ → *le operazioni su macchine post 1996 o comunque correttamente analizzate possono essere analizzate alla luce della manualistica*
- ❑ → *altri interventi (strutturali, sull'impiantistica, ecc. vanno analizzati preliminarmente ad es. mediate What If')*

JOB SAFETY ANALYSIS: - 2 - principi su cui la JSA si fonda:

- → *analisi di dettaglio delle operazioni svolte da ciascun addetto, e scomposizione logica di ogni operazione complessa in una serie di operazioni elementari: cio' consente di individuare esaustivamente i possibili pericoli insiti in ciascuna di esse - il limite e' definito dal mancato ulteriore apporto di informazioni - il coinvolgimento del lavoratore in questa fase e' ESSENZIALE;*
- → *determinazione della durata media di ciascuna operazione elementare, e conseguente stima del fattore di contatto (DIAGRAMMA TEMPI/OPERAZIONI);*
- → *l'analisi di macchine ed attrezzature e delle relative modalita' di utilizzo va condotta ASSUMENDO CHE LE STESSE COSTITUISCANO AGENTI MATERIALI AUTONOMI – procedura dedicata;*
- → *impostazione CONTESTUALE delle necessarie contromisure in riferimento alle normative aggiornate (v. Codice civile Art.2087, D.Lgs. 626/94: art. 3, c.1 b). Il coinvolgimento del lavoratore consente una verifica diretta circa la praticabilita' di interventi e procedure in questa fase definiti, e la sua informazione, formazione e motivazione a comportamenti corretti.*





2.2 Un aspetto particolare: sicurezza di macchine ed impianti

2.2.1 Macchine utilizzate negli stabilimenti di lavorazione di superfici di alluminio nel VCO.

Le macchine utilizzate per la smerigliatura sono macchine manuali o a ciclo automatico e a caricamento manuale, ognuna collegata a una linea di captazione.
Nelle macchine a nastro, l'utensile principale è costituito da un anello chiuso di nastro abrasivo, posto in tensione da tre pulegge. I rulli ad azione diretta provocano la pressione del nastro in movimento contro la superficie in lavorazione, in modo tale da dare luogo ad asportazione di materiale (Fig. 11 e 12).

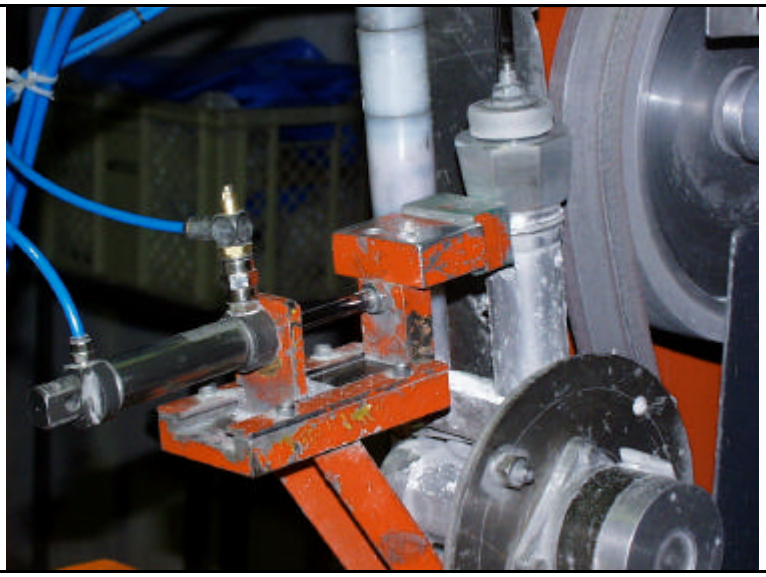


Fig. 11 Portapezzo di macchina smerigliatrice automatica a caricamento manuale

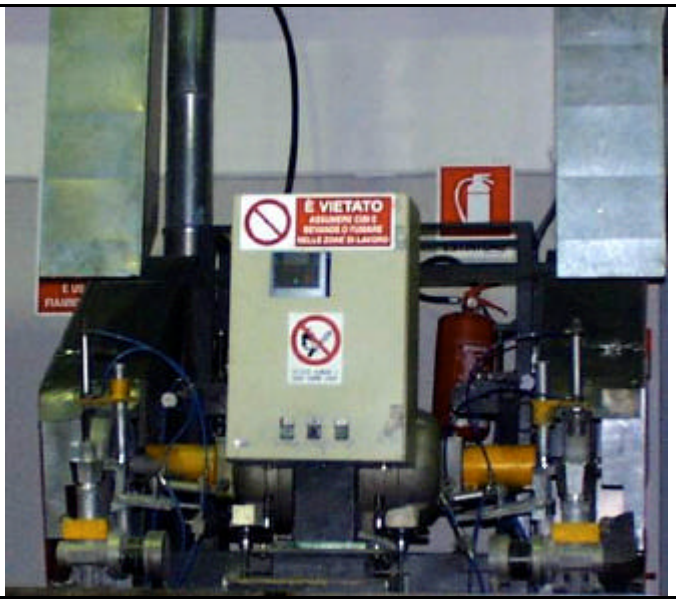


Fig. 12 Smerigliatrice a doppio albero - La postazione è composta da un motore elettrico ad asse orizzontale dotato di due mandrini laterali che azionano le pulegge di trascinamento.

2.2.2 Impianti utilizzati per la captazione e l'abbattimento dei particolati negli stabilimenti di lavorazione di superfici di alluminio nel VCO.

I processi di finitura di manufatti in alluminio e leghe nella realtà produttiva ASL 14 VCO (vd. Fig.13) adottano tipologie di impianti di abbattimento delle polveri a umido ed a secco.

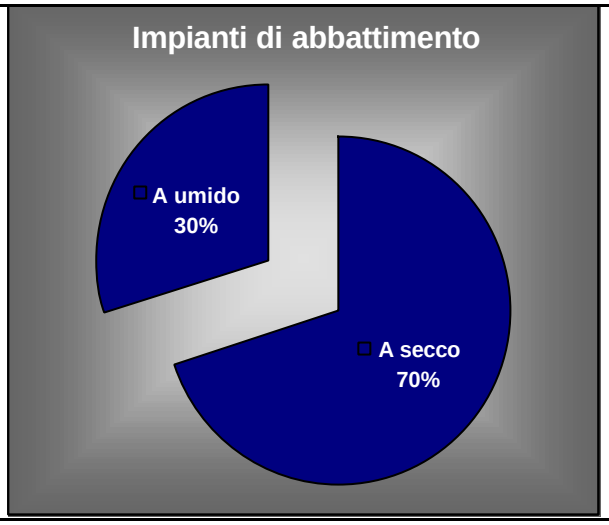


Fig. 13 Tipologia degli impianti di abbattimento nel VCO (dati relativi anno 2002)

I due tipi di impianti presentano pregi e difetti che ne facilitano la scelta anche in funzione della dimensione dell'azienda.

a. Impianti a secco: la depolverazione avviene generalmente per filtrazione in filtri a maniche di tessuto antistatico. Talvolta i filtri sono posti a valle di diverter.

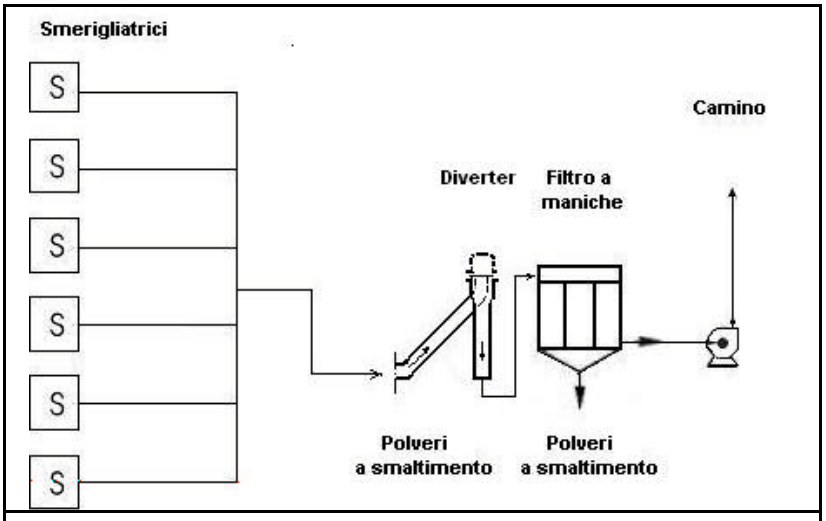


Fig. 14 Schema di un impianto a secco

b. Impianti a umido: il sistema di abbattimento delle polveri è basato su apparecchiature di varia foggia il cui principio di funzionamento consiste comunque nel miscelare intimamente l'aria polverosa con acqua dispersa in gocce minutissime.

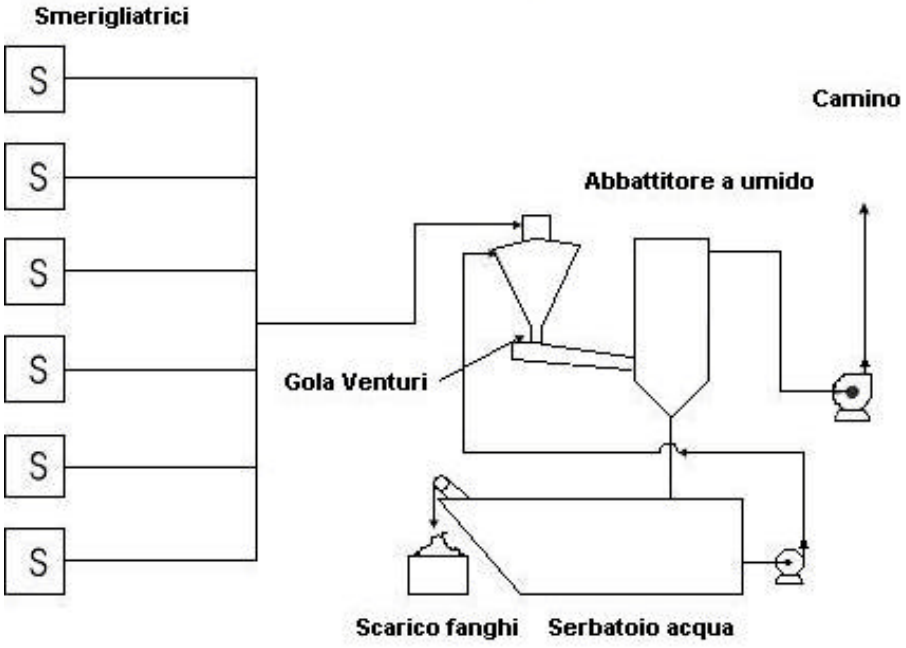


Fig. 15 Schema di un impianto a umido

2.2.3 Gestione della sicurezza di macchine ed impianti secondo la metodologia proposta

Per quanto segnatamente concerne le macchine, l'approccio generale adottato nel criterio proposto comporta implicitamente una metodologia di analisi efficace ai fini della valutazione di rischio nelle fasi di selezione e gestione delle macchine, con riferimento tanto alle caratteristiche proprie quanto alla adeguatezza nei confronti dell'applicazione particolare alla quale si prevede di destinarle. La tecnica ha pertanto valenza generale, e può essere utilmente impiegata a prescindere dalla età anagrafica delle macchine stesse: naturalmente a seconda della situazione (macchine costruite o modificate nel rispetto delle vigenti normative tecniche o meno), la procedura può risultare più o meno semplificata.

L'approccio generale e' schematizzato in tabella 8 e nel diagramma logico di Figura 16.

Tab.8: criterio di analisi di rischio su macchine e attrezzature

Per gestire correttamente l'analisi tanto per la scelta di *MACCHINE NUOVE* da inserire nel sistema, quanto per la verifica di accettabilità (in termini di livello di rischio) di *MACCHINE REALIZZATE PRIMA DEL RECEPIMENTO DELLA DIRETTIVA MACCHINE E DISPOSTI CONNESSI,* si procede come segue:

- ***Fase 1***: verifica della macchina nei confronti dei disposti in materia di sicurezza ante recepimento Direttiva Macchine (DPR 459/96).

  Fase 1a: verifica della macchina rispetto alle condizioni di sicurezza disponibili alla data di fabbricazione;

  Fase 1b: verifica della macchina rispetto ai disposti normativi in vigore dalla data di fabbricazione al recepimento, in Italia, della Direttiva Macchine.

Se la macchina non risulta rispondente a quanto sopra, se ne deve prevedere la messa fuori servizio, diversamente si passa all'analisi prevista nella fase successiva.

- ***Fase 2:*** *verifica della macchina nei confronti del progresso della tecnica (D.Lgs 626/94 art.3 – 1b eliminazione dei rischi in relazione alle conoscenze acquisite in base al progresso tecnico e, ove ciò non è possibile, loro riduzione al minimo in base a liste di controllo relative agli standard di marcatura di una macchina assimilabile nuova ([4]).*

segue

[4] a supporto di tale approccio va ricordato che:

- come richiamato al c. 3 art.1 del DPR 459/96 "*si considerano altresì immessi sul mercato la macchina od il componente di sicurezza messi a disposizione dopo aver subito modifiche costruttive non rientranti nella ordinaria o straordinaria manutenzione*" e quindi tali macchine o componenti devono essere marcati CE. Per modifiche costruttive si intende *qualsiasi variazione* della macchina/componente di sicurezza rispetto a quanto direttamente previsto dal costruttore;
- come richiamato al comma 7 dell'art.4 del DPR 459/96, nel caso di assemblaggio di macchine, parti di macchine o componenti di sicurezza di origini diverse per la realizzazione di una macchina per immissione sul mercato od anche solo per uso proprio quest'ultima deve essere marcata CE;
- per quanto concerne le macchine costruite ante 21 settembre 1996 e non marcate CE, che non hanno subito modifiche costruttive deve essere tenuto ben presente che, mentre per chiunque venda, noleggi o conceda in uso (anche gratuito) od in locazione finanziaria il bene è stabilito l'obbligo di attestare la rispondenza dello stesso alle norme previgenti (art.11 DPR 459/96), ciò non comporta esenzione dell'acquirente, in quanto datore di lavoro, di ottemperare a quanto prescritto dal dlgs 626/94, e specificatamente agli artt. 3 misure generali di tutela, comma b: "eliminazione dei rischi in relazione alle conoscenze acquisite in base al progresso tecnico e, ove ciò non è possibile, loro riduzione al minimo", e 36 disposizioni concernenti le attrezzature di lavoro: "le attrezzature di lavoro messe a disposizione dei lavoratori devono soddisfare le disposizione legislative e regolamentari in materia di tutela della sicurezza e salute dei lavoratori stessi, ad esse applicabili".

Se la macchina risponde a quanto sopra, a seguito di interventi tecnici o dell'adozione di soluzioni che garantiscono pari sicurezza, si può procedere alla fase 3.

- ***Fase 3:*** *verifica dell'adeguatezza della macchina alle condizioni di impiego locali.*

Se la macchina risponde a quanto sopra, può essere impiegata per l'applicazione prevista, diversamente, pur essendo di per sé definibile sicura, non va comunque adoperata nel caso specifico.

NOTE:

1. non possono ovviamente rimanere attive macchine non rispondenti ai dettami delle norme tecniche in vigore (v. ad es. DPR 547/55([5]), 303/56, 164/56, 320/56 e D.Lgs 277/91, 257/92, ecc.) e che debbono risultare verificati gli eventuali adempimenti in materia di libretti di verifica, ecc.
2. L'effetto di guasti, rotture, malfunzionamento della macchina sugli operatori e sul sistema può comunque essere analizzata ulteriormente ([6]).

[5] tra gli altri che si citano più sovente si rammenta l'Art. 374 ….. *"Gli impianti, le macchine, gli apparecchi, le attrezzature, gli utensili, gli strumenti, compresi gli apprestamenti di difesa, devono possedere, in relazione alle necessità della sicurezza del lavoro, i necessari requisiti di resistenza e di idoneità ed essere mantenuti in buono stato di conservazione e di efficienza", tenuto peraltro conto che, nel caso di macchine marcate CE le predette norme assumono, secondo quanto stabilito dalla L.128/98,valenza di riferimenti tecnici.*

[6] *come sopra detto e esplicitato chiaramente nel gia' richiamato documento curato per la Regione Piemonte, se la macchina è dotata di documentazione incompleta non puo' considerarsi marcata CE, il proprietario deve farne richiesta al produttore; in alternativa si può procedere a una valutazione del rischio.*

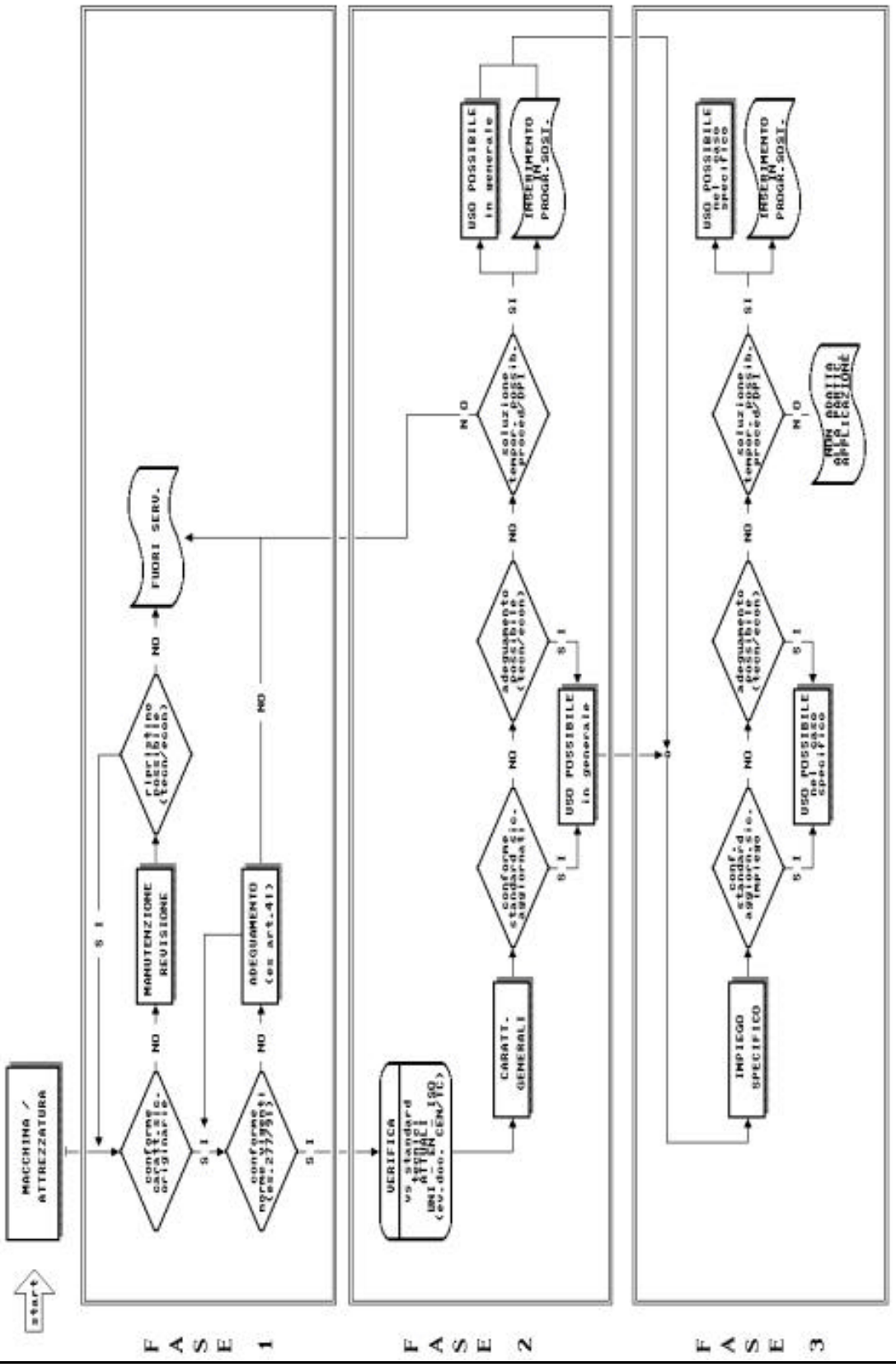


Fig.16: passi logici di analisi di una macchina ai fini della valutazione di adeguatezza ai disposti normativi ed impiegabilità in una situazione applicativa specifica

Per quanto concerne gli impianti, come indicato nello schema di Fig.10, è inoltre fondamentale garantire, attraverso la applicazione di idonee tecniche di Hazard Evaluation, una corretta analisi con riferimento alle situazioni di deviazione (guasto) che possono presentare conseguenze sulla sicurezza. Questo aspetto della questione verrà esplicitato nei capitoli seguenti.

Naturalmente, ancora con riferimento alla Fig.10, va ricordato che vale quanto segue:

NB: premesso che la MANUTENZIONE costituisce un aspetto fondamentale nella conservazione della sicurezza (oltreché della disponibilità del sistema [7]), tanto che questo aspetto figura direttamente nella stessa definizione di affidabilità

Affidabilità = probabilità di un componente di funzionare senza guasti in condizioni di corretto utilizzo (e sottoposto a corretta manutenzione) nel tempo.

È ovvio che nelle presenti considerazioni SI ASSUME che la manutenzione sia correttamente condotta secondo quanto prescritto nei manuali delle macchine marcate CE singole o complesse come nel caso degli impianti (in caso di macchine non marcate si rinvia nuovamente all'approccio discusso in sito "Sicuri di essere sicuri" della Regione Piemonte, area Norme e circolari regionali [http://www.regione.piemonte.it/sanita/sicuri/normativ/circreg/circreg.htm]

Per tale ragione non vengono nel presente lavoro presi in considerazione gli aspetti di deviazione e le conseguenze associati al mancato rispetto delle tempistiche e delle procedure di manutenzione, da impostare secondo quanto indicato dai Costruttori (o risultante da una analisi dedicata). Caso mai, ad opinione degli scriventi, sarebbe da formalizzare la tenuta dei relativi registri.

A titolo di esempio di seguito si citano alcune fra le modifiche apportate in aziende del comparto a seguito dell'azione evidenziata con la stesura del gia' richiamato primo rapporto di analisi congiunta Politecnico – SPreSAL per portare ad un livello base le condizioni di sicurezza in materia di macchine e ciclo produttivo:

- *rivestimento in alluminio dell'interno della struttura e delle parti meccaniche per evitare la formazione di scintille;*
- *impiego di mandrini di fissaggio dei manufatti da smerigliare in metallo anti-scintilla;*
- *aggiunta di una cuffia in gomma antistatica per proteggere il cilindro pneumatico che sostiene il mandrino;*
- *collocazione di bocchette di aspirazione di diametro adeguato per captare le polveri di alluminio proiettate verso il basso per effetto del moto del nastro;*
- *realizzazione delle bocchette in modo da impedire il ristagno di polvere;*
- *arresto immediato delle macchine in caso di malfunzionamento dell'impianto di captazione;*
- *adozione di un interruttore temporizzatore che impedisce l'avviamento delle macchine finché il separatore non lavora a regime;*
- *motori elettrici con grado di protezione IP55.*

[7] *tempo medio di buon funzionamento/tempo di funzionamento desiderato*

2.2.4 Caratteristiche di base delle tecniche di analisi da adoperare nell'ambito dell'approccio proposto

PREMESSO CHE, come già esplicitato chiaramente nel volume *"Esplosioni da polveri nei processi di finitura di manufatti in alluminio e leghe nella realtà produttiva ASL 14 VCO: analisi del rischio e misure di prevenzione", F.Lembo et al. l'analisi di sicurezza delle condizioni lavorative in condizioni normali va in primo luogo affrontata mediante una Job Safety Analysis, al cui interno può risultare opportuno applicare altre tecniche di Hazard Evaluation (ad es. nel caso di macchine, da intendersi come agenti materiali nella Job Safety Analysis di base)*

va tenuto presente che le varie tecniche di valutazione da adottare nell'ambito dell'approccio discusso per l'approfondimento di aspetti specifici devono rispondere ad una serie di requisiti base quali:

- *sistematicità*: l'analisi deve essere compiuta su tutti i componenti dell'impianto seguendo uno schema logico, in modo da non tralasciare nulla che possa poi divenire un elemento debole del sistema;
- *completezza* per esaminare tutte le variabili di processo o i malfunzionamenti in grado di generare situazioni critiche per ogni elemento dell'impianto;
- *formalizzazione*: il risultato deve essere intelleggibile.

Tenuto peraltro conto che - come discusso al punto 2.1.1.- l'analisi di un insediamento produttivo riguarda aspetti assai differenti in virtù dello specifico oggetto dell'esame, nel seguito si farà riferimento ad una suddivisione del sito in **ambiti**:

a. macchine e attrezzature corredate di marcatura CE;
b. macchine e attrezzature non corredate da marcatura CE;
c. luoghi di lavoro;
d. impianti complessi, quali quelli di abbattimento polveri.

L'analisi poi può differenziarsi per l'obiettivo stesso. In tal senso si individuano i seguenti **obiettivi** dell'analisi:

1. valutazione di conformità di mezzi, apparecchiature, procedure ai dispositivi di legge;
2. valutazione dei rischi cui sono esposti i lavoratori;
3. valutazione dell'adeguatezza di strumenti e procedure;
4. valutazione dei rischi di incidenti "gravi" per lo più legati a malfunzionamenti o rotture.

L'analisi è completa se estesa a ogni ambito e, poiché ogni obiettivo comporta peculiarità nell'affrontare l'analisi stessa, questa sarà estesa a tutte le coppie ambiti/obiettivi.

2.3 Compendio delle tecniche di Hazard Evaluation ritenute più confacenti alla analisi di aspetti specifici nell'ambito della tipologia industriale in esame

Ogni tecnica di Hazard Evaluation presenta peculiarità negli scopi e nella forma; in questo lavoro ci si è avvalsi di quelle ritenute più idonee per il contesto in esame.

Le tecniche possono essere suddivise in:

- *deduttive*: dall'ipotesi di un evento incidentale (pericolo) si risale agli *eventi iniziatori*;
- *induttive*: dall'ipotesi di un malfunzionamento di un elemento, si seguono gli sviluppi fino all'evento ultimo derivante.

Di seguito sono descritte le tecniche applicate nel corso del lavoro. In prima battuta ognuna di esse può essere applicata a tutte le coppie ambito/obiettivo individuate nel paragrafo 2.2. Sarà oggetto dell'esame dei risultati discutere quali siano le tecniche più adatte ad ogni coppia.

2.3.1 Checklist

Principio

Letteralmente il termine significa "analisi per liste di controllo", dal momento che usa appunto una lista di quesiti per verificare lo stato di un sistema.

Il grado di dettaglio di queste liste può essere molto variabile: l'obiettivo che in genere ci si pone è quello di focalizzare l'attenzione sugli aspetti di un problema che risultano meno conosciuti, per procedere poi a successivi approfondimenti supportati da un metodo di Hazard Evaluation più specifico.

Usata con questo spirito, la tecnica si rivela particolarmente proficua nell'analisi delle modifiche apportate con intento sperimentale ad un impianto, permettendo di rendere congruente la nuova situazione con:

leggi	*norme tecniche*	*sviluppo tecnologico*

Metodica

Il metodo si articola in due fasi:

- nella prima si deve cercare in bibliografia o creare ex-novo in base all'esperienza maturata su impianti od in situazioni similari ([8]) la checklist più idonea a "vestire" il problema in esame. Questa fase è estremamente delicata e richiede un tecnico con una grande esperienza impiantistica, in grado di personificare lo stato dell'arte dei sistemi del tipo analizzato;
- la seconda fase consiste nell'applicare la checklist sul campo e nel cogliere gli aspetti non ritrovabili nello standard, su cui avverrà lo studio di dettaglio. Questa fase è meno complessa: la struttura stessa della checklist, le cui risposte si configurano come "si/no", "non applicabile" o "necessita approfondimento", la rende relativamente semplice.

Risultato

L'output finale della procedura è un rapporto in cui figurano evidenziati tutti i punti di distacco dallo standard, i relativi pericoli identificati dal team sicurezza e i suggerimenti per l'indirizzamento delle azioni successive (previo studio di dettaglio con altro metodo di HE).

Osservazione

Dei vari metodi cui qui si fa cenno la checklist analysis è quello che più tipicamente è stato mutuato anche per verifiche sul campo nell'ambito della verifica delle condizioni di sicurezza del lavoro, e di recente ne sono state proposte a quest'ultimo scopo numerose versioni "prefabbricate" di sviluppo estremamente diversificato, dalla lista della lavandaia alla guida del telefono (permangono naturalmente anche per queste applicazioni i limiti cui si è fatto cenno in generale per questa procedura di analisi).

Un esempio di lista di controllo estesa è costituito per l'appunto dal documento tratto, proprio per il contesto in esame, dalla norma *NFPA 651 - 1998 Standard for the Machining and Finishing of Aluminum and the Production and Handling of Aluminum Powders*, contenuto nel volume *"Esplosioni da polveri nei processi di finitura di manufatti in alluminio e leghe nella realtà produttiva ASL 14 VCO: analisi del rischio e misure di prevenzione", F.Lembo et al. Centro Stampa Regione Piemonte, Torino, 2001*

[8] le liste "prefabbricate" per impiego generale sovente presentano o eccessiva semplificazione (e quindi risultano incomplete), od eccessiva laboriosità di impiego, *e comunque non si ha mai certezza che siano esaustive per il particolare caso in analisi*: pertanto quale che sia il tipo di lista che si utilizza è fondamentale conservare ben vigile il proprio senso critico.

2.3.2 What If Analysis

Principio

Lo scopo del metodo, largamente utilizzato in campo industriale ad ogni stadio del ciclo di vita di un impianto, è analizzare l'impianto seguendo uno schema a domande del tipo "che succede se...?", dal quale devono emergere le potenziali situazioni di incidente, le relative conseguenze, le contromisure da prendere tenuto conto delle difese già esistenti. Il metodo può implicare modifiche di progetto delle strutture e di esecuzione delle operazioni.

Metodica

In genere, il primo passo consiste nel fornire ai membri del team sicurezza il necessario supporto informativo per mezzo di disegni, descrizioni di processo, procedure operative, sopralluoghi, interviste con il personale, ecc..

In seguito viene organizzato un incontro tra gli analisti dal quale, una volta chiarito l'obiettivo dello studio, nasce la struttura di riferimento, del tipo a domande. Se non esistono indicazioni diverse da parte del team-leader, l'analisi procede dall'ingresso delle materie prime nell'impianto e segue i flussi fino all'uscita o fin dove sia esaurito l'ambito dello studio.

I quesiti vengono quindi suddivisi per aree di indagine e di interesse, quali la sicurezza dei lavoratori, dei terzi, dell'ambiente, ecc.. Ogni area viene affidata ad uno o più analisti esperti nel campo, che si occuperanno di rispondere ai questionari realizzati.

Risultati

I risultati ottenuti vengono organizzati sotto forma di tabelle riportanti domande, risposte, misure di protezione, raccomandazioni.

La What-if Analysis risulta un metodo molto potente in grado di analizzare ogni singolo elemento di una realtà produttiva (edifici, centrali di potenza, materiali, stoccaggi, movimentazione e così via), a patto che il team sicurezza abbia già confidenza con la procedura. Diversamente è probabile che i risultati manchino di completezza.

2.3.3 Failure Mode Effect Analysis (FMEA)

Principio

È un metodo che si basa sull'analisi delle possibili modalità di guasto dei singoli componenti di un impianto, cercando di identificare quelle situazioni in cui il guasto costituisce fonte di pericolo diretta od elemento fortemente predisponente all'insediarsi di altri pericoli.

Metodica

Per ogni possibile situazione di questo genere il metodo individua la risposta del sistema e quindi le conseguenze del malfunzionamento, solitamente mettendosi nel caso peggiore, in cui nessun dispositivo di sicurezza interviene.

Il metodo nella sua accezione di base di base NON considera:

- *le situazioni pericolose non correlate a guasti dei componenti (eventi atmosferici, terremoti, cause di guasto esterne all'impianto, ecc.);*
- *gli errori umani e del software che gestisce l'impianto;*
- *la criticità, ovvero il grado di danno che un guasto comporta rispetto ad altri. Questo tipo di valutazione, fatta secondo categorie predefinite, viene delegata ad una variante appositamente sviluppata della tecnica, nota come FMECA (Analisi dei Modi e degli Effetti di Guasto e della loro Criticità)*

Ogni guasto è considerato come evento indipendente, senza connessione con altre avarie del sistema, univocamente legato al sistema dalla propria cascata di conseguenze.

Rispetto ad HAZOP, FMEA è un metodo più concentrato sull'analisi meccanica del componente isolato; per sistemi complessi FMEA manifesta limiti molto maggiori di HAZOP per la difficoltà nel valutare le interconnessioni e per l'allungamento eccessivo dei tempi di analisi.

Come primo passo, l'applicazione di FMEA richiede la scelta del grado di dettaglio voluto, i confini fisici della catena di componenti da analizzare, lo stato di default per ogni componente. Tutto ciò si definisce avendo di fronte i disegni di progetto dell'impianto.

In seguito, la procedura prevede la redazione di una tabella con le seguenti voci:

a. *identificazione dei componenti a disegno, comprese le protezioni presenti per ridurre l'eventualità del guasto o le conseguenze di questo;*
b. *descrizione del componente (funzione, stato operativo, caratteristiche particolari dell'ambiente in cui è installato quali alta temperatura, flussi corrosivi,...);*
c. *descrizione delle modalità di guasto per ciascun componente: la tabella seguente ne esemplifica le più comuni negli impianti industriali:*

guasto alla struttura (rottura)	*perde verso l'interno*	*attivazione errata*	*uscita errata (insufficiente)*
grippaggio o inceppamento	*perde verso l'esterno*	*non si ferma*	*uscita errata (eccessiva)*
vibrazioni	*fuori tolleranza in più*	*non si avvia*	*mancanza di ingresso*
non resta in posizione	*fuori tolleranza in meno*	*non commuta*	*mancanza di uscita*
non apre	*funziona e non dovrebbe*	*interviene troppo presto*	*corto circuito elettrico*
non chiude	*funzionamento intermittente*	*interviene in ritardo*	*circuito elettrico aperto*
rimane aperto	*funzionamento irregolare*	*ingresso errato (insufficiente)*	*dispersione elettrica*
rimane chiuso	*indicazione errata*	*ingresso errato (eccessivo)*	*flusso ridotto*

d. la catena degli effetti del guasto su altri componenti ("effetto locale") e globalmente su tutto il sistema: ad esempio se la pompa perde liquido infiammabile si potranno avere nell'ordine una pozza intorno alla pompa, un incendio, un danno ai componenti vicini, un danno agli operatori presenti nell'area;

e. modalità di rilevamento dei guasti;

f. azioni correttive e eventuali miglioramenti proponibili.

Risultato

Una tabella di compendio costituisce output della procedura. L'analisi può essere ulteriormente approfondita, classificando per gravità gli effetti dei guasti dei componenti (v. Tabella 9).

Tab 9 Riferimenti per il calcolo degli effetti dei guasti dei componenti in relazione alla gravità delle conseguenze

Classe	Definizioni	Caratteristiche
IV	molto modesta	il guasto del componente non provoca blocco del sistema e non coinvolge il personale
III	modesta	il guasto del componente provoca il blocco del sistema, ma non coinvolge il personale
II	grave	il guasto non porta a danni importanti nel sistema, ma coinvolge il personale
I	molto grave	il guasto porta importanti danni al sistema o gravi lesioni al personale

2.3.4 Hazard and Operability Analysis HAZOP (approccio misto: induttivo/deduttivo)

Una Analisi di Operabilità (HazOp) permette di eseguire uno studio esaustivo dell'impianto esaminato, in conformità alle direttive della Comunità Europea (ECD 96/82/CE) che richiedono una descrizione dettagliata dei possibili scenari accidentali, con la loro frequenza di accadimento, partendo dagli eventi iniziatori fino all'individuazione delle conseguenze finali indesiderate.

Nei casi in cui è richiesta anche la quantificazione di un certo numero di potenziali incidenti (stima della probabile frequenza di accadimento), la costruzione dei modelli logici dovrebbe essere eseguita sulla base delle informazioni riportate negli stessi moduli dell'HazOp.

Queste informazioni devono però essere interpretate dagli analisti e tradotte in termini di diagramma logico dei guasti (uno o più Alberi dei Guasti).

La caratteristica principale dell'analisi di operabilità consiste nello studio di tutte le variabili di processo e della loro evoluzione nel sistema in seguito ad una situazione di malfunzionamento che porta a deviazioni delle variabili stesse dai propri valori ottimali di funzionamento. Per lo studio di tali deviazioni, si ricorre all'utilizzo di nodi del sistema, ovvero punti di particolare interesse all'interno del processo, caratterizzati da possibili deviazioni delle variabili in esame.

Esistono diverse varianti e perfezionamenti di HazOp (o Analisi di Operabilità – AO), alcuni anche su supporto informatico. Nel caso in esame si è fatto ricorso all'Analisi di Operabilità Ricorsiva (AOR), che rispetto alla versione originaria è una procedura più razionale e strutturata, in quanto è finalizzata allo sviluppo di alberi logici per i successivi aspetti quantitativi.

Analisi di Operabilità Ricorsiva

La metodologia di HazOp ricorsiva è stata sviluppata con l'obiettivo primario di automatizzare la fase di costruzione del modello logico, riducendo così il tempo dedicato all'analisi e la verifica del progetto su basi quantitative. Ciò comporta ovviamente, una riduzione dei costi.

Al fine di porre un freno all'eccessiva creatività degli analisti, per non avere analisi dispersive e poco focalizzate sugli obiettivi di sicurezza, si considerano indispensabile premessa all'analisi le assunzioni riportate in Tabella 10.1.

Tabella 10.1: Assunzioni da tenere presenti durante lo sviluppo di un'Analisi di Operabilità

• L'impianto è ben progettato: ciò significa che in fase di progettazione e realizzazione è stata sfruttata la miglior scienza ingegneristica (algoritmi di calcolo, conoscenze pregresse su impianti simili, norme di buona progettazione, …).
• I componenti e i materiali corrispondono alle specifiche: non si tengono in conto errori di montaggio o installazione, né i guasti infantili.
• L'impianto è in condizioni di regime: non si considerano quindi i periodi derivanti dalle condizioni di avviamento o di fermata.

Prima d'iniziare un'Analisi di Operabilità è necessario che l'analista abbia ben chiari gli scopi dello studio e gli obiettivi che s'intendono raggiungere. Infatti, anche se l'obiettivo generale è quello d'identificare gli eventi incidentali, per evitare inutili prolissità o dispersioni è opportuno che l'analisi sia focalizzata sullo scopo principale dello studio, quale, ad esempio, uno tra quelli riportati in Tabella 10.2.

Analogamente, nel quadro di una costruzione che individui i legami Causa - Conseguenze, è importante che siano definite quali conseguenze specifiche debbano essere considerate (Tabella 10.2). Il soddisfacimento delle esigenze di sistematicità, completezza e congruenza dell'analisi è affidato all'esperienza e alla competenza dei componenti del gruppo di lavoro che deve essere unita ad una procedura di analisi rigorosa, atta a guidare gli analisti all'acquisizione e alla documentazione di una visione corretta e completa delle problematiche analizzate.

Tabella 10.2: Possibili scopi e obiettivi di un'Analisi di Operabilità
a) Motivi che giustificano uno studio:
• controllare i rischi di un nuovo progetto;
• decidere se o dove costruire un impianto;
• sviluppare una lista di quesiti da porre ad un fornitore;
• controllare un manuale operativo;
• migliorare la sicurezza di un servizio esistente;
• verificare che i dispositivi di controllo e regolazione operino al meglio.
b) Conseguenze specifiche che possono essere considerate:
• sicurezza degli operatori d'impianto;
• sicurezza degli addetti di un impianto vicino;
• danni all'impianto e ad attrezzature;
• pubblica incolumità;
• impatto ambientale;
• perdita di produzione;
• definizione di un premio assicurativo;
• responsabilità.

Suddivisione dell'impianto in sottosistemi

L'applicazione dell'Analisi di Operabilità ad un impianto può comportare difficoltà in relazione alle sue dimensioni e complessità. Pertanto è indispensabile una sua scomposizione in un certo numero di sottosistemi al fine di effettuare l'analisi nel modo più sistematico e completo possibile.

Il grado di dettaglio secondo il quale deve essere eseguita la suddivisione non è definibile a priori, dipende essenzialmente dalla complessità dell'impianto e dallo stile di lavoro degli analisti. Nella suddivisione in sottosistemi si pongono in evidenza sulle linee alcuni luoghi d'interesse denominati nodi di frontiera, che rappresentano il punto di separazione fra un sottosistema e il successivo. Oltre a questi, per un'appropriata esecuzione dell'analisi, è indispensabile prendere in considerazione altri punti caratteristici interni al generico sottosistema, denominati nodi interni. In particolare è necessario individuare o contrassegnare come tali, tutti quegli strumenti o apparecchiature che possono essere causa prossima o remota di un evento indesiderato e, in particolare, di deviazioni di variabili di processo.

Modulo dell'analisi HazOp ricorsiva

Per assicurare sistematicità e completezza all'analisi, durante il suo sviluppo è indispensabile procedere alla compilazione di moduli appropriati. Innanzitutto, in testa allo stesso, tenuto presente che conviene compilarne uno per ogni sottosistema, è opportuno riportare alcune informazioni sintetiche, così come suggerito dalla Tabella 10.3.

Il riportare l'elenco dei nodi da prendere in esame e l'elenco delle variabili critiche ad essi associate può essere utile per permettere di eseguire un rapido controllo di completezza sul lavoro svolto ultimata l'analisi del sottosistema.

Per questo scopo conviene riportare anche i nodi che non sono stati considerati perché non significativi e quelli già considerati in quanto facenti parte anche di altri sottosistemi.

Tabella 10.3: Informazioni da riportare in testa ad ogni singolo modulo di un AO
• Denominazione dell'impianto e suoi dati caratteristici;
• Disegno meccanico o flow-sheet di riferimento;
• Denominazione o sigla del sottosistema e descrizione della sua funzione;
• Elenco dei nodi di frontiera o interni appartenenti al sottosistema;
• Parametri di processo interessanti i nodi citati, le cui deviazioni possono portare ad eventi indesiderati;
• Significato di simboli e acronimi.

L'uso di simboli e acronimi nella compilazione del modulo consente una compattazione di scrittura specialmente quando ricorrono spesso le stesse dizioni. A fine lavoro ciò consente anche di trovare "a colpo d'occhio" un certo concatenamento fra deviazioni, cause e conseguenze e di passare poi più facilmente alla stesura di schemi logici.

In Tabella 10.4 viene descritto il significato dell'intestazione delle cinque colonne in cui il modello HazOp è suddiviso.

Modulo HazOp ricorsiva

Tabella 10.4: Intestazione del modulo HazOp

1. Deviazioni

Si riporta la deviazione della variabile di processo in esame, cioè lo scostamento dalle intenzioni di progetto, e l'identificazione del nodo corrispondente.

2. Cause possibili

Sono riportate tutte le ragioni che possono produrre la deviazione descritta nella colonna precedente. Ogni volta che una deviazione ha origine da una causa ragionevole e realistica, va considerata come significativa. Tali cause possono essere interne al sottosistema, cioè dovute a malfunzionamenti di componenti interni (nodi interni), oppure esterne (nodi di frontiera).

3. Conseguenze

Si intendono gli effetti pericolosi della deviazione. Possono essere legati all'amplificazione della deviazione (dunque riguardare le variabili di processo) oppure possono interessare altre parti del sistema, poste in genere a valle. Le conseguenze indicano anche la possibilità di danno alle persone o alle cose.

Possono verificarsi conseguenze anche per l'appropriato intervento di mezzi protettivi (ad esempio, "lo scarico in atmosfera" per l'intervento di un disco di rottura).

4. Segnalazioni ottiche o acustiche

Sono fornite da mezzi mediante i quali può essere rivelata la deviazione in esame. Occorre che questi mezzi effettuino la misura della variabile oggetto di deviazione. I mezzi di rivelazione possono essere di tipo ottico (registrazioni, indicazioni in sala controllo, indicazioni in campo), test periodici, oppure allarmi acustici. Occorre notare come tutti gli strumenti in grado di segnalare le deviazioni possano anche non appartenere al sottosistema in oggetto.

5. Mezzi protettivi automatici

Sono del tutto analoghi ai precedenti, ma avviano un intervento protettivo in modo automatico.

6. Note

Sono anche riportate quelle osservazioni ritenute utili per illustrare meglio le informazioni inserite nelle colonne precedenti.

7. Top Event

In questa colonna si riportano, numerate progressivamente, le conseguenze ultime dei malfunzionamenti.

Per rendere più oggettiva la compilazione dei moduli, è opportuno tenere presente uno schema prefissato di quesiti, come quelli riportati in Tabella 10.5.

Tabella 10.5: Lista dei quesiti da applicare ad ogni variabile di processo

- Quali sono le possibili deviazioni della variabile?
- Come sono prodotte queste deviazioni?
- Quali sono gli effetti delle deviazioni sul resto del sistema?
- La deviazione porta il sistema in uno stato di sicurezza o di pericolo?
- Quali sono i mezzi di rilevazione della deviazione?
- Quali interventi sono previsti per contrastare la deviazione in esame?
- Gli interventi individuati sono da considerare sufficienti? Altrimenti, quali altri interventi possono essere previsti?

Le modalità di compilazione tengono conto dei legami logici inevitabilmente presenti in una corretta AOR (vd. Tab 10.6). È proprio la presenza di tali legami logici che consente di estrarre da una AOR sia un albero di guasto, che un albero degli eventi. La corrispondenza che ne deriva è peraltro assai più evidente tra AOR e FT in quanto la costruzione di entrambi (dall'alto al basso) procede per il susseguirsi di eventi negativi: il guasto dei componenti operativi e il mancato intervento sia degli allarmi sia dei mezzi protettivi. L'analisi si arresta, quindi, quando si identificano i cosiddetti Eventi primari. Questi rappresentano le cause che si riferiscono al malfunzionamento o al guasto di un componente meccanico, di un loop di regolazione o di un indicatore, senza entrare nei dettagli del loro funzionamento.

Il procedimento di analisi si sviluppa attraverso le seguenti fasi.

Prima fase: Descrizione del sistema

Questa indispensabile attività preliminare non è specifica dell'AOR, ma può essere considerata simile a quella di altre metodologie qualitative o quantitative. Infatti, qualsiasi tipologia di analisi richiede la modellazione logico-matematica del sistema in esame. Perché sia valido, il modello deve ritrarre il sistema in una fotografia quanto più possibile fedele alla realtà.

Un'analisi esauriente deve essere:

• centrata sull'impianto in esame, senza farsi sviare da possibili similitudini con altri impianti;

• realizzata in modo appropriato, scegliendo come tipo di analisi da condurre, tra i più idonei, quello conosciuto maggiormente;

• attenta a tutti i particolari significativi, mettendoli bene in evidenza;

• la più appropriata per meglio mettere in luce i legami logici esistenti tra le diverse parti funzionali del sistema in esame.

Seconda fase: Individuazione dei nodi e delle deviazioni

Effettuata la suddivisione in sottosistemi e attribuiti a questi i componenti, nell'ambito di una visione funzionale, segue la fase dell'individuazione:

• dei nodi, ossia dei punti del sistema dove la deviazione delle variabili è importante per lo sviluppo del processo;

• delle deviazioni, rispetto alle normali condizioni di regime, che possono presentarsi in ciascun sottosistema relativamente alle funzioni entranti, proprie o uscenti;

• delle loro modalità di propagazione verso i sottosistemi contigui attraverso i nodi interni (punti di intervento delle azioni di protezione proprie del sottosistema) e i nodi di frontiera (punti di confine tra sottosistemi).

Le deviazioni che si originano da funzioni entranti o da funzioni uscenti sono importate da sottosistemi contigui e ad essi deve rivolgersi la ricerca delle loro cause. Le deviazioni che nascono da funzioni proprie hanno, invece, cause all'interno del sottosistema stesso. In ogni caso, se non arrestate dai dispositivi di protezione, le deviazioni si propagano da sottosistema a sottosistema degenerando in conseguenze diverse e potenzialmente sempre più serie, fino a sfociare in conseguenze peculiari per gravità o per il modo di presentarsi, dette Top Event. Per uno specifico TE, il sottosistema in cui esso si produce costituisce il termine della catena e quindi il termine dell'analisi della propagazione delle deviazioni.

Ai fini dell'individuazione delle conseguenze di ciascuna deviazione, occorre seguire il percorso della sua propagazione attraverso:

• i nodi interni di ciascuno dei sottosistemi interessati alla propagazione, in corrispondenza di ciascuno dei quali occorre identificare e classificare tutte le azioni di protezione in grado di bloccare o deviare la propagazione stessa verso i sottosistemi contigui;

• i nodi di frontiera interessati dalla propagazione, in corrispondenza di ciascuno dei quali occorre anche identificare e classificare tutte le eventuali azioni di protezione atte a bloccare o alterare la propagazione ulteriore.

Di ciascuna perturbazione individuata deve essere cercata la causa d'origine e la conseguenza finale (il TE) e deve essere individuata l'intera catena degli eventi che portano dall'una all'altra. Si deve perciò seguire sistematicamente la perturbazione durante la sua evoluzione fino al Top Event attraverso ogni suo singolo passaggio.

Primo passaggio nella propagazione della perturbazione

Il primo evento E_i della catena di propagazione della perturbazione è la Causa Prima (iniziatrice) dell'intera catena, causa che dà origine alla Deviazione D1 dalla quale a sua volta deriva la Conseguenza C1 ove non intervenga il Mezzo Protettivo I1.

In ciascuno dei passaggi nella propagazione delle perturbazioni si deve quindi annotare nel modulo ogni eventuale intervento di protezione (manuale oppure automatico) sollecitato dalla deviazione D1. È, infatti, importante conoscere lungo la catena di propagazione tutti quei punti in corrispondenza dei quali è possibile arrestare, ridurre o deviare la perturbazione, attraverso opportune azioni protettive. Nel caso in cui intervenisse l'intervento protettivo I1, la deviazione D1 resterebbe bloccata e non darebbe luogo alla conseguenza C1.

Secondo passaggio nella propagazione della perturbazione

Nel secondo passaggio la deviazione D1 deve essere assunta come Causa della catena degli eventi successivi. In tal senso D1 rappresenta un evento di perturbazione E2 (ovvero $D1 \equiv E2$) responsabile a sua volta di una deviazione D2. La deviazione D2 è rappresentata dalla conseguenza C1 del passaggio precedente (ovvero $C1 \equiv D2$).

Dalla deviazione D2 segue la seconda conseguenza C2, ove fallisse il sistema protettivo I2 chiamato in causa dalla deviazione D2.

N-esimo passaggio nella propagazione della perturbazione

La catena si presenta come una serie di stadi:

Causa $\Rightarrow$ Deviazione $\Rightarrow$ Conseguenza

Ogni deviazione rappresenta la causa del passaggio successivo. Tale causa produce a sua volta una deviazione rappresentata dalla conseguenza del passaggio precedente.

Ad ogni passaggio sono annotati gli eventuali interventi protettivi chiamati dalla deviazione che in esso ha luogo. Se qualche intervento protettivo non ha la funzione di bloccare la catena di propagazione della perturbazione, ma solo di deviarla verso conseguenze diverse, la sua presenza provoca la necessità di biforcare la catena, seguendo in successione entrambi i cammini che la perturbazione può prendere.

In tal modo si descrive l'intero percorso della propagazione, dalla causa prima fino al raggiungimento della o delle conseguenze finali non protette (TE).

In definitiva l'analisi deve offrire la descrizione dettagliata del decorso di ogni perturbazione, al fine d'identificare tutti i TE che possono verificarsi nei sottosistemi, situati al termine di ogni catena di propagazione.

Un riassunto schematico dei vari passaggi di propagazione della perturbazione è riportato in Tabella 10.6.

Tabella 10.6: Esempio di una analisi HazOp ricorsiva

Deviazione	**Cause**	**Conseguenze**	**Interventi Protettivi**	**Note**	**TE**
D1	E1	C1	I1		
C1	D2	C2	I2		
C1	C3	C3	I3		
…	…	…	…		
CN- 1	CN- 2	CN	IN		1

Terza fase: Controllo di congruenza e completezza

Dopo aver completato la compilazione dei moduli per ogni sottosistema, si può procedere ad un controllo completo dell'analisi appena svolta. In Tabella 10.7 e in Tabella 10.8 sono enunciate alcune modalità di controllo di carattere generale.

Tabella 10.7: Controlli di congruenza e completezza per ciascun sottosistema
• Si verifichi che nel compilare le tabelle siano state prese in esame, per ciascun nodo, tutte le variabili riportate in testa ad ogni modulo e che si erano ritenute critiche in fase di suddivisione dell'impianto in sottosistemi. • Partendo da un TE, si ripercorra a ritroso lo schema, seguendo le linee di flusso. Per ciascun nodo incontrato, si prendano in esame le diverse deviazioni che hanno concorso a determinare il TE

Tabella 10.8: Controlli di congruenza e completezza sulle variabili analizzate
1. Se una variabile comparisse nella colonna delle Cause, ma non in quella delle Deviazioni, potrebbe voler dire che: • la variabile può cominciare ad assumere valori anomali proprio in quel nodo; • nell'impostare l'analisi non si era previsto che lo scostamento della variabile potesse avere conseguenze dannose più a valle.
2. Mentre nella colonna delle Cause si può normalmente trovare più di una volta lo stesso evento, se nella terza colonna si trovasse più volte una Deviazione per il medesimo nodo, ciò potrebbe voler dire che è stata ripetuta l'identica informazione, probabilmente ingenerando confusione. In effetti potrebbe anche darsi che le due deviazioni siano da considerarsi legate logicamente in "OR", ognuna con proprie cause iniziatrici. In tal caso conviene contrassegnarle in modo che si possano considerare riunite in un'unica deviazione, quando si eseguirà lo schema logico del sistema.
3. Se nella terza colonna si trovasse una deviazione, e questa non comparisse anche nella colonna delle cause, vorrebbe dire che il trasferimento d'informazione in quel nodo è stato interrotto, perché: • si è giunti ad un TE e la deviazione in oggetto contribuiva a generare solo quello; • è stata trascinata fino a quel nodo inutilmente e perciò la si è abbandonata; • per errore e perciò manca una giusta continuità nell'analisi.

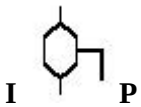
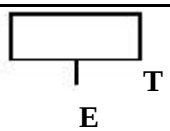
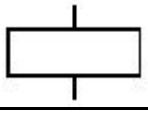
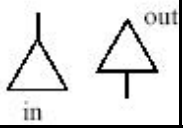
2.3.5 Fault Tree Analysis

L'albero dei guasti consente di rappresentare il percorso logico che porta all'accadimento dei Top Event (TE) individuati per mezzo dell'HazOp e di individuarne i Minimal Cut Set (MCS), cioè le combinazioni di eventi minime che portano a ciascun TE.

Le cause immediate del TE costituiscono il primo livello di foglie dell'albero.

Ciascuna causa immediata può tuttavia essere considerata come derivante dall'occorrenza di altri fenomeni che possono essere utilmente descritte come foglie di secondo livello dell'albero e così via. Le interazioni tra eventi, ad ogni livello, sono rappresentate con porte logiche (Tabella 11) che descrivono il legame funzionale tra gli eventi in ingresso e quelli in uscita.

Tabella 11: Simbologia utilizzata per la costruzione di alberi logici

	Porta AND	Affinché si verifichi l'evento in uscita, è necessario che si verifichino tutti gli eventi in entrata.
	Porta OR	Affinché si verifichi l'evento in uscita, è sufficiente che accada uno qualsiasi degli eventi in entrata.
	Porta OR esclusivo	Affinché si verifichi l'evento in uscita, è sufficiente che accada uno qualsiasi degli eventi in entrata, il quale, esclude automaticamente gli altri.
	Porta INHIBIT	Questo operatore ha due ingressi: un evento iniziatore (I) e un evento di protezione (P). L'evento in uscita (C) si verifica solo se, al verificarsi dell'evento iniziatore, la relativa protezione risulta indisponibile.
	Porta NOT	Operazione negazione: all'uscita si verifica l'evento contrario a quello in ingresso.
	Evento primario	Rappresenta un guasto o un evento di componente elementare (non ulteriormente sviluppabile) del quale si conoscono i parametri probabilistici.
	Top Eevent	Evento indesiderato da cui procedere nella costruzione di un albero dei guasti.
	Evento intermedio	Rappresenta un guasto o una deviazione di una variabile di processo risultante dall'interazione di altri eventi di guasto.
	Simboli di trasferimento	Indicano che il grafico è sviluppato ulteriormente in un altro punto.

L'Albero di guasto consiste quindi in un diagramma che identifica tutte le sequenze di eventi che possono portare al verificarsi di uno specificato evento pericoloso.

La procedura da seguire per giungere alla sua stesura si articola nei seguenti punti:

- *identificazione dell'evento finale pericoloso (Top Event);*
- *stima delle conseguenze di questo evento;*
- *identificazione, nel contesto del sistema e dei suoi dintorni, degli eventi precursori dell'evento finale, da continuare fino all'individuazione degli eventi iniziatori (Eventi primari);*
- *assegnazione delle probabilità agli eventi primari e calcolo della probabilità che l'evento finale si verifichi.*

La caratteristica specifica di questo metodo è che il flusso logico di eventi comincia con il Top Event e termina con gli eventi primari. L'analisi tramite l'albero di guasto parte da una conseguenza e si sviluppa alla ricerca degli eventi-causa che l'hanno provocata, evidenziando con porte AND, OR o altre porte logiche, i tipi di legame tra i vari eventi.

La costruzione degli alberi può essere effettuata automaticamente a partire dall'analisi di operabilità ricorsiva:

1. si individua il TE, che si pone alla sommità dell'albero;

2. si individuano le cause del TE, che sono collegate ad esso tramite una porta logica:

- *INHIBIT se nella corrispondente riga dell'HazOp vi sono elementi protettivi nelle colonne 4 (segnalazioni ottiche/acustiche) e 5 (mezzi protettivi automatici);*
- *OR o AND se le cause sono molteplici, in funzione della correlazione logica individuata con l'HazOp.*

3. Si procede risalendo riga per riga l'HazOp fino a giungere alle cause iniziatrici.

Nel seguito è proposto un esempio di costruzione di albero di guasto (vd Tab. 12 e Fig. 17) a partire da un AOR.

Tab. 12 Esempio di albero di guasto

Deviazioni	Cause	Conseguenze	Allarmi	Sistemi automatici	Note	TE
E	C --- A	F				
D	A --- B	F				
F	D & E	H	G			
H	F	L	G	I	TE	1

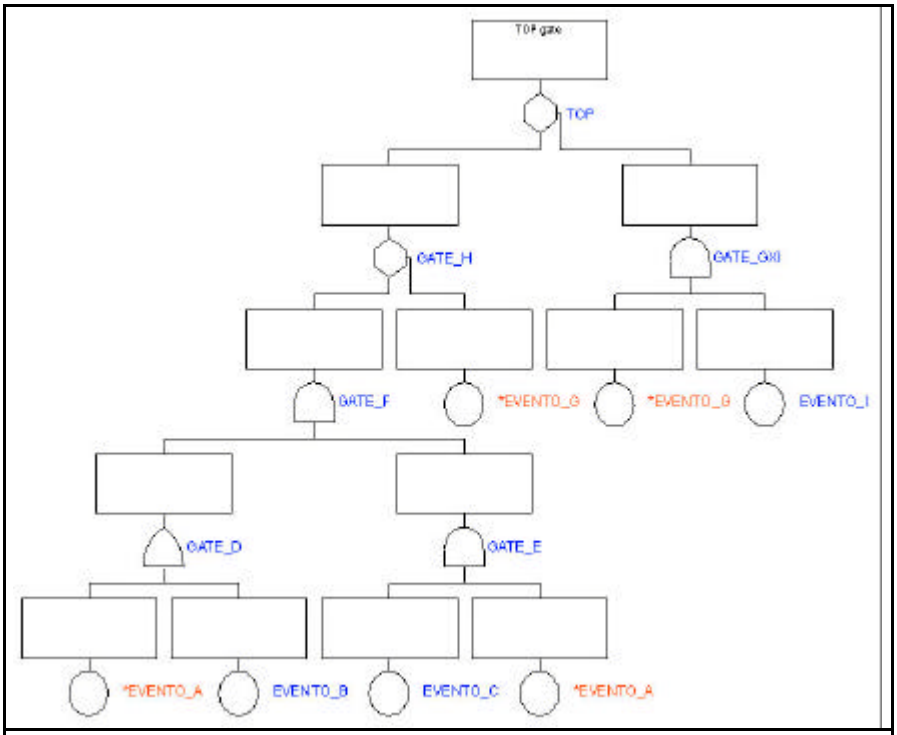


Fig. 17 Schematizzazione di un albero di guasto

Riduzione ai Minimal Cut Sets

Naturalmente per conoscere il valore numerico della frequenza di accadimento del Top Event, occorre conoscere i valori dei tassi di guasto e delle indisponibilità dei singoli eventi primari.

Essi devono essere combinati in modo opportunoattraverso le regole dell'algebra booleana. Questo processo consiste nella riduzione dell'albero ai minimal cut sets.

Le regole dell'algebra booleana sono riassunte nella Tabella 13, mentre la Tabella 14 mostra il processo di riduzione dell'albero di Fig.17.

Tab. 13 Proprietà dell'algebra booleana	
Commutatività della somma	A+B = B+A
Commutatività del prodotto	A*B = B*A
Associatività della somma	A+(B+C) = (A+B)+C
Associatività del prodotto	A*(B*C) = (A*B)*C
Distributività della somma	A+(B+C) = (A+B)+C
Distributività del prodotto rispetto alla somma	A*(B+C) = A*B+A*C
Nota bene: attenzione, valgono le seguenti proprietà:	
Idempotenza della somma	A+A = A
Idempotenza del prodotto	A*A = A
Complementazione della somma	A+A = U
Complementazione del prodotto	A*A = A
Doppia negazione	A = A
Dalle proprietà di idempotenza si ricavano le seguenti regole di	
Assorbimento	A+A*B = A
Assorbimento	A*(A+B) = A

Tab.14 Risoluzione del processo di riduzione dell'albero di fig.

T.E. (L) = H·G·I H = F·G
T.E. (L) = F·G·G·I = F·G·I F = D·E
T.E. (L) = D·E·G·I D = A+B E = A+C
T.E. (L) = (A+B)(A+C)·G·I = (A+AB+AC+BC)·G·I = (A+BC)·G·I
T.E. (L) = A·G·I +B·C·G·I
⇓ ⇓
MC III grado
MC IV grado

La ricerca dei Minimal Cut Set dipende solo dalla struttura dell'albero logico e non richiede nessuna informazione riguardo ai valori di probabilità di accadimento associati agli eventi base.

Se l'albero è imponente (ovvero con molte porte e centinaia di eventi primari, molti dei quali si ripetono in più rami e i parametri sono funzione dell'età dei componenti), la procedura diretta è praticamente impossibile da applicare.

Per i casi reali, in genere molto complessi, sono disponibili numerosi programmi per calcolatori che permettono il calcolo dei MCS con l'uso di opportuni algoritmi.

Per la successiva risoluzione numerica degli alberi ridotti è necessario inoltre conoscere i dati affidabilistici di ciascun componente presumibilmente attraverso la consultazione di una Banca Dati di Affidabilità, ovvero una raccolta di dati statistici sui guasti casuali che possono interessare moltissimi componenti di uso impiantistico. Nel caso in esame, l'analisi quantitativa non è stata operata proprio per la mancanza di sufficienti dati probabilistici.

3 Esempi di applicazione delle diverse tecniche di analisi

L'applicazione delle tecniche di analisi di rischio è stata fatta su un impianto di abbattimento a umido.

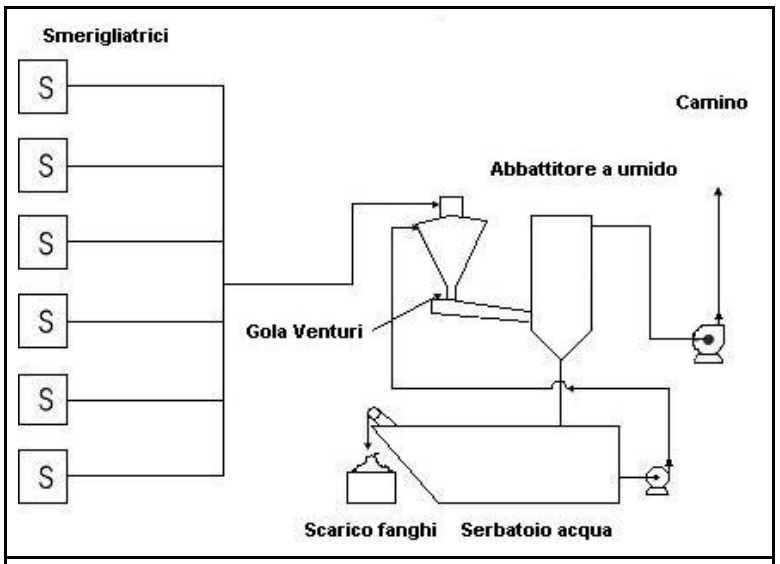


Fig. 15 Schema di un impianto a umido

In base ad un'analisi comparata su casi di specie relativi al comparto, fra le numerose tecniche di Hazard Evaluation disponibili, si è anzitutto pervenuti a stabilire che, per le realtà industriali in questione, sia sufficiente riferirsi, a seconda del problema indagato, a una fra quelle proposte nella tabella che segue, in cui è anche evidenziato il campo ottimale di applicazione di ciascuna di esse.

Di seguito si propongono esempi che dimostrano l'efficienza delle differenti tecniche ove applicate a casi in cui esse possono fornire prestazioni ottimali

3.1 Analisi di componenti meccanici

3.1.1 Checklist

Il sistema di utilizzo delle checklist più completo ed esaustivo consiste nel derivare la lista da una norma al fine di poterla utilizzare in fase di verifica della conformità di un apparato alla norma stessa.

Nella Tab.15 si riporta un esempio tratto dall'analisi del documento DPR 459/96 Allegato 1 "*Requisiti essenziali di sicurezza e di salute relativi alla progettazione e alla costruzione delle macchine e dei componenti di sicurezza*", che specifica i requisiti tecnici di sicurezza e/o le misure protettive da adottare in fase di progettazione, costruzione e installazione delle macchine e dei componenti di sicurezza.

Tab. 15 Checklist relativa all'esempio riportato

All1Rif.	Requisiti	Si	No	Pericoli	Note
1.5	**Misure di protezione contro altri rischi**				
1.5.6	Rischi d'incendio: la macchina è progettata e costruita in modo da evitare qualsiasi rischio d'incendio o di surriscaldamento provocato dalla macchina stessa o da gas, liquidi, polveri, vapori e altre sostanze, prodotti o utilizzati dalla macchina?			Incendio provocato da: - generazione di sostanze combustib. - raggiung. di temperature di innesco	
1.5.7	Rischi di esplosione: la macchina è progettata e costruita in modo da evitare qualsiasi rischio di esplosione provocato dalla macchina stessa o da gas, liquidi, polveri, vapori e altre sostanze prodotti utilizzati dalla macchina?.			Esplosione provocata da: - generazione di sostanze combustibili raggiung. di temperature di innesco	Devono essere previste le misure necessarie per: - evitare una concentraz. pericolosa dei prodotti; - impedire infiammazione dell'atmosfera esplosiva; - ridurre le conseguenze di un'eventuale esplosione in modo che non abbiano effetti pericolosi sull'ambiente circostante.
	NB: quanto sopra vale in particolare nel caso in cui la macchina debba essere adoperata in atmosfere esplosive				

Una lista di controllo più estesa (v. Tab. 16) può essere redatta a partire dall'elenco dei pericoli estratta dal documento **UNI EN 414 *"Sicurezza del macchinario, regole per la stesura e la redazione di norme di sicurezza"***

Tab. 16 Lista di pericoli legati all'utilizzo di macchine (UNI EN 414)

1. **Pericoli di natura meccanica** provocati, per esempio, da: forma, posizione relativa, massa e stabilità (energia potenziale di elementi), massa e velocità (energia cinetica di elementi), insufficiente resistenza meccanica, accumulo, nelle parti della macchina o pezzi in lavorazione, di energia potenziale da elementi elastici (molle) o liquidi o gas sotto pressione o in depressione:	
1.1 1.2 1.3 1.4 1.5 1.6 1.7 1.8 1.9 1.10 1.11 1.12	pericolo di schiacciamento; pericolo di cesoiamento; pericolo di taglio o sezionamento; pericolo di impigliamento; pericolo di trascinamento o di intrappolamento; pericolo di urto; pericolo di perforazione o puntura; pericolo di attrito o abrasione; pericolo di eiezione di un fluido ad alta pressione; pericolo di proiezione di parti (della macchina e materiali/pezzi lavorati); perdita di stabilità (della macchina e di parti della macchina); pericolo di scivolamento, d'inciampo e di caduta in relazione alla macchina (a causa della loro natura meccanica).
2. **Pericoli provocati dall'assenza (temporanea) e/o dall'errata collocazione delle misure /strumenti condizionanti la sicurezza**, per esempio:	
2.1 2.2 2.3 2.4 2.5 2.6 2.7 2.8 2.9 2.10	tutti i tipi di ripari; tutti i tipi di dispositivi (di protezione) condizionanti la sicurezza; dispositivi di avviamento e di arresto; segni grafici e segnali di sicurezza; tutti i tipi di dispositivi di informazione o avvertimento; dispositivi per la disalimentazione dell'energia ; dispositivi di emergenza; mezzi per carico/scarico pezzi; strumenti ed accessori fondamentali per gli interventi di regolazione e/o manutenzione in sicurezza; impianti per l'evacuazione di gas, ecc...
3. **Pericoli di natura elettrica**, provocati per esempio da:	
3.2 3.3 3.4	contatto elettrico (diretto o indiretto); fenomeni elettrostatici; radiazioni termiche o altri fenomeni, come la proiezione di particelle fuse e gli effetti chimici derivanti da cortocircuiti, sovraccarichi, ecc...; influenze esterne sull'equipaggiamento elettrico.

4.	**Pericoli di natura termica**, che causano:	
4.1		bruciature e scottature, provocate da un eventuale contatto, da fiamme o da esplosioni ed anche dall'irraggiamento di fonti di calore;
4.2		danni alla salute provocati da un ambiente di lavoro caldo o freddo.
5.	**Pericoli generati da rumore**, che provocano:	
5.1		perdita della capacità uditiva (sordità) ed altri disturbi fisiologici (per esempio, perdita dell'equilibrio, della conoscenza);
5.2		interferenze con la comunicazione verbale, con i segnali acustici, ecc...
6.	**Pericoli generati da vibrazioni** (che provocano vari disturbi neurologici e vascolari)	
7.	**Pericoli generati da radiazioni**, causati in particolare da:	
7.1		archi elettrici;
7.2 7.3 7.4		laser; radiazioni ionizzanti; macchine che utilizzano campi elettromagnetici ad alta frequenza.
8.	**Pericoli generati da materiali e sostanze trattate**, utilizzate o scaricate dalla macchina, quali, per esempio:	
8.1		pericoli derivanti dal contatto o dall'inalazione di fluidi, gas, nebbie, fumi e polveri che hanno un effetto dannoso;
8.2 8.3		pericolo di incendio o di esplosione; pericoli biologici e microbiologici (virus e batteri).
9.	**Pericoli provocati dall'inosservanza dei principi ergonomici** in fase di progettazione della macchina (errato abbinamento della macchina con le caratteristiche e le capacità umane), provocati, per esempio, da:	
9.1		posizioni errate o sforzi eccessivi;
9.2 9.3 9.4 9.5 9.6		considerazione inadeguata dell'anatomia umana: mano-braccio o piede-gamba; mancato uso di dispositivi di protezione individuali ; illuminazione insufficiente della zona di lavoro ; eccessivo o scarso impegno mentale, tensione, ecc...; errori umani.
10.	**Combinazione di pericoli**	
11.	**Pericoli provocati da guasti nell'alimentazione di energia, rottura di parti della macchina, e altre disfunzioni** quali, per esempio:	
11.1		guasto nell'alimentazione di energia (del circuito di alimentazione di energia e/o del sistema di comando);
11.2 11.3		proiezione imprevista di parti della macchina o fluidi;
11.4 11.5		guasto, disfunzione del sistema di comando (avviamento imprevisto, oltrecorsa imprevista); errori di montaggio; ribaltamento, perdita imprevista della stabilità della macchina.

3.1.2 Failure Mode Effects Analysis

Si consideri, a titolo di applicazione di quanto visto al paragrafo 2.2.3, l'esame dei modi di guasto di un **tenditore pneumatico per puleggia** (Fig. 18.1) effettuato applicando la tecnica FMEA. La funzione del tenditore consiste nel mantenere teso il nastro, in maniera tale da effettuare la smerigliatura nel modo corretto. Esso è azionato pneumaticamente tramite un cilindro attuatore comandato tramite elettrovalvola.

Fig. 18.1 Tenditore per puleggia

Nel caso specifico, le cause di malfunzionamento sono molte; se ne analizzeranno alcune con maggior dettaglio.

Guarnizioni del pistone usurate

L'azionatore pneumatico della puleggia è dotato di guarnizioni che possono usurarsi (*causa di guasto*). Una volta usurate, le guarnizioni non permettono un perfetto scorrimento del pistone interno all'attuatore (*conseguenza locale*); inoltre, lo scarso tensionamento permette al nastro abrasivo di oscillare e causa una smerigliatura non uniforme dei pezzi lavorati (*conseguenza globale*).
Se il tensionamento scende al di sotto di un certo limite, il nastro può sfilarsi e urtare il carter, eventualmente causando scintille, se il carter non è costruito in materiale antiscintilla. Chiaramente lo sfilamento del nastro provoca l'interruzione della produzione (seconda *conseguenza globale*).
La rilevazione del guasto è affidata all'osservazione dell'operatore, che vede il nastro oscillare (*rilevamento guasto*).
Le "*azioni correttive*" consistono nell'utilizzare il corretto lubrificante.
Nella colonna "*osservazioni*" è indicato il modo di operare se le guarnizioni sono usurate: il modo migliore di procedere è senz'altro sostituire il pistone.

Basso livello dell'olio

Un'insufficiente quantità di olio lubrificante nel circuito pneumatico può portare a un cattivo scorrimento del pistone nel cilindro cioè all'errato posizionamento della puleggia, causando gli effetti globali già discussi per il caso precedente e, ancora una volta, il guasto si rileva unicamente osservando le oscillazioni del nastro. L'azione correttiva consigliata è il controllo settimanale del livello dell'olio anche in questo caso.

Fig. 18.2 Serbatoi dell'olio lubrificante e della condensa

Fig 18.3 Pistone da lubrificare

Bassa pressione dell'olio

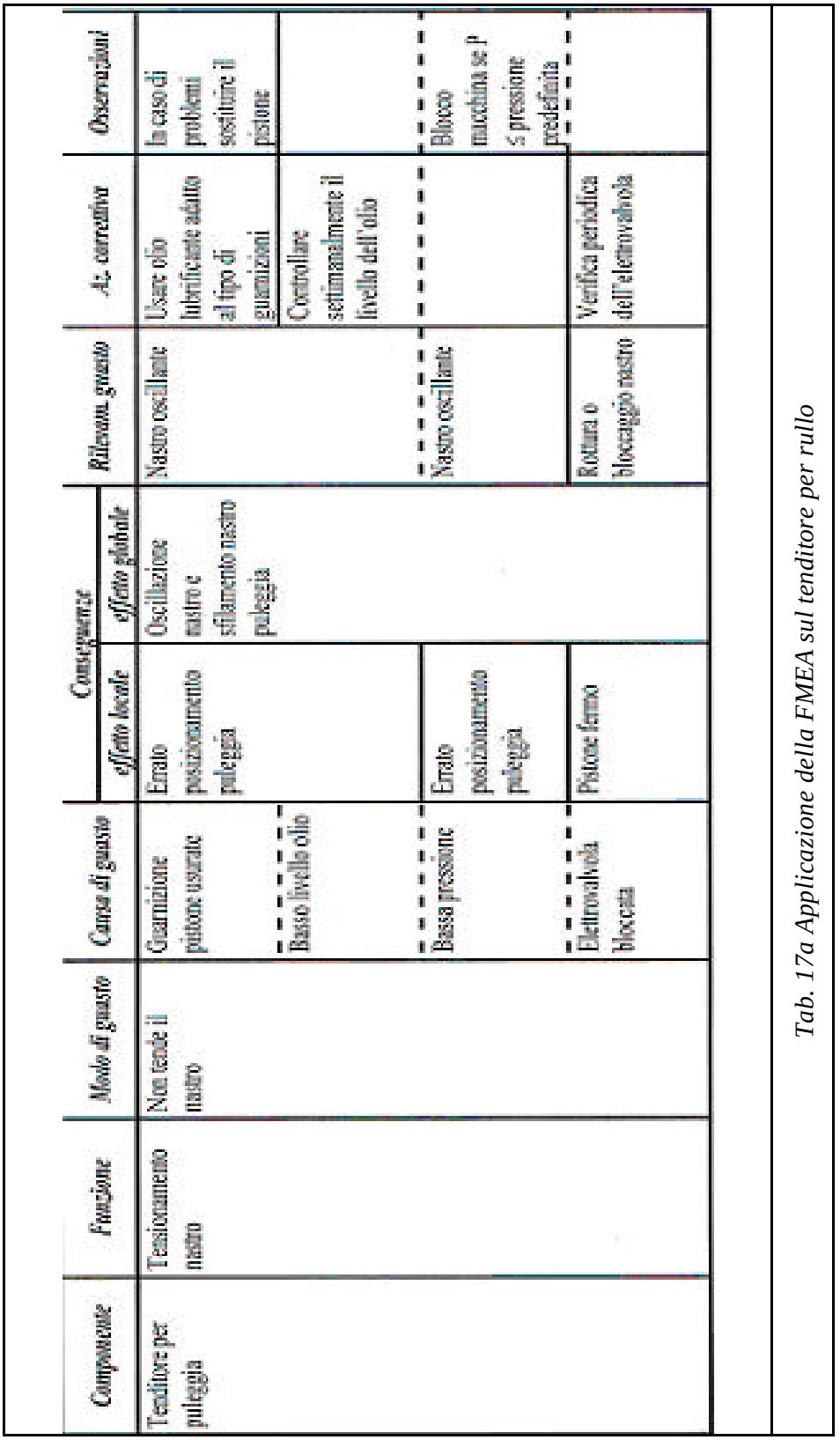
La bassa pressione nel circuito di attivazione porta a un errato posizionamento della puleggia. Un pressostato interrompe l'alimentazione alla macchina nel caso in cui la pressione scenda al di sotto dei 6 bar ("*rilevamento guasto*").

- ***Elettrovalvola bloccata***

Come *effetto locale* della chiusura spuria dell'elettrovalvola, il pistone rimane fermo, mentre gli *effetti sul sistema* sono ancora una volta oscillazioni e sfilamento del nastro.

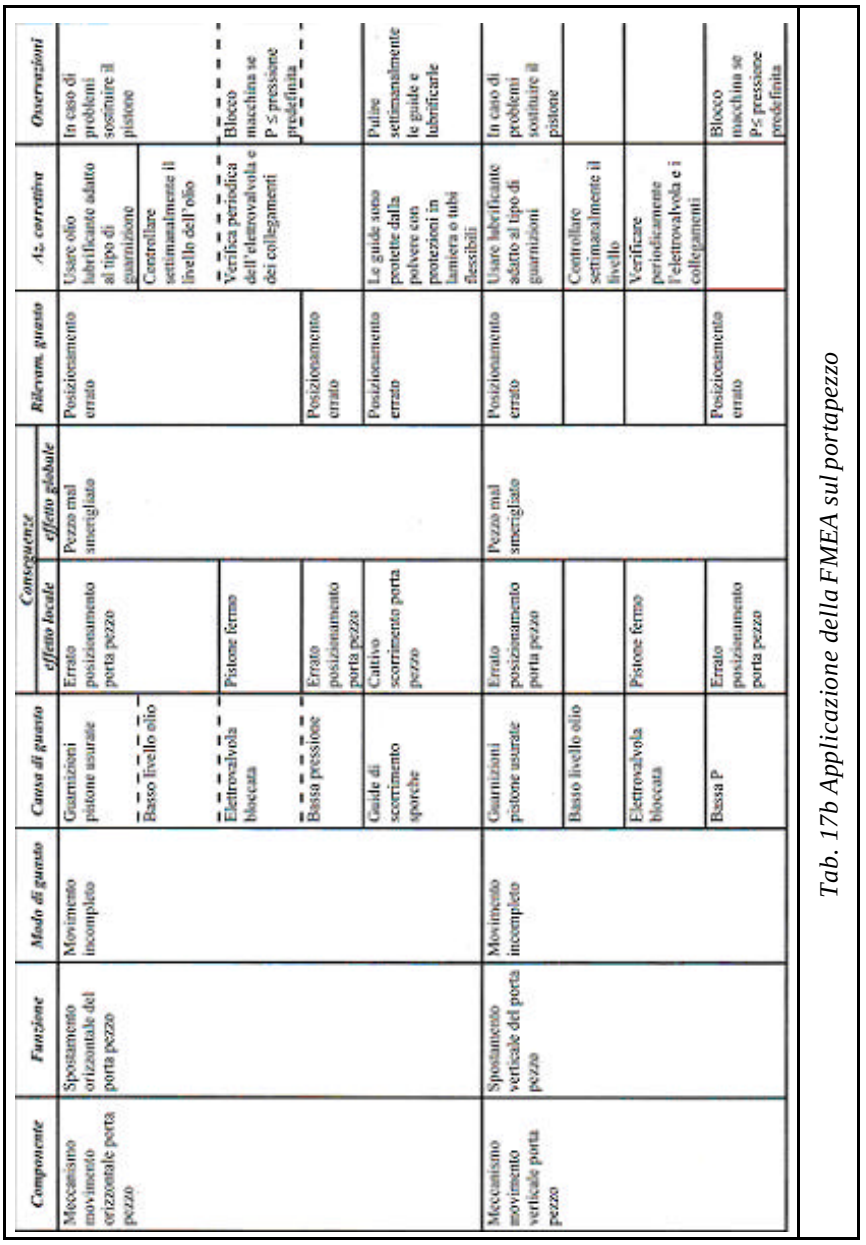
Il malfunzionamento è rilevato visivamente perché il portapezzo non torna nella posizione di riposo. Come azione correttiva si può semplicemente consigliare una verifica periodica dell'elettrovalvola.

Successivamente all'esempio appena trattato, si riporta la FMEA applicata al portapezzo di cui sono dotate le macchine smerigliatrici automatiche a caricamento manuale e avente la funzione di accompagnare il pezzo da smerigliare (Tab. 17a e 17b)



Componente	Funzione	Modo di guasto	Causa di guasto	Conseguenze		Rilevam. guasto	Az. correttive	Osservazioni
				effetto locale	effetto globale			
Tendifune per puleggia	Tensionamento nastro	Non rende il nastro	Guarnizione pistone usurata	Errato posizionamento puleggia	Oscillazione nastro e sfilamento nastro puleggia	Nastro oscillante	Usare olio lubrificante adatto al tipo di guarnizioni	In caso di problemi sostituire il pistone
			Basso livello olio				Controllare settimanalmente il livello dell'olio	
			Bassa pressione	Errato posizionamento puleggia		Nastro oscillante		Blocco macchina se P ≤ pressione predefinita
			Elettrovalvola bloccata	Pistone fermo		Rottura o bloccaggio nastro	Verifica periodica dell'elettrovalvola	

Tab. 17a Applicazione della FMEA sul tenditore per rullo



Componente	Funzione	Modo di guasto	Causa di guasto	Conseguenze: effetto locale	Conseguenze: effetto globale	Rilevam. guasto	Az. correttive	Osservazioni
Meccanismo movimento orizzontale porta pezzo	Spostamento orizzontale del porta pezzo	Movimento incompleto	Guarnizioni pistone usurate	Errato posizionamento porta pezzo	Pezzo mal smerigliato	Posizionamento errato	Usare olio lubrificante adatto al tipo di guarnizione	In caso di problemi sostituire il pistone
			Basso livello olio				Controllare settimanalmente il livello dell'olio	
			Elettrovalvola bloccata	Pistone fermo			Verifica periodica dell'elettrovalvola e dei collegamenti	Blocco macchina se P ≤ pressione predefinita
			Bassa pressione	Errato posizionamento porta pezzo		Posizionamento errato		
			Guide di scorrimento sporche	Cattivo scorrimento porta pezzo		Posizionamento errato	Le guide sono protette dalla polvere con protezioni in lamiera o tubi flessibili	Pulire settimanalmente le guide e lubrificarle
Meccanismo movimento verticale porta pezzo	Spostamento verticale del porta pezzo	Movimento incompleto	Guarnizioni pistone usurate	Errato posizionamento porta pezzo	Pezzo mal smerigliato	Posizionamento errato	Usare lubrificante adatto al tipo di guarnizioni	In caso di problemi sostituire il pistone
			Basso livello olio				Controllare settimanalmente il livello	
			Elettrovalvola bloccata	Pistone fermo			Verificare periodicamente l'elettrovalvola e i collegamenti	
			Bassa P	Errato posizionamento porta pezzo		Posizionamento errato		Blocco macchina se P≤ pressione predefinita

Tab. 17b Applicazione della FMEA sul portapezzo

La FMEA consente di evidenziare le cause di vari guasti, permettendo così di individuare le azioni correttive che garantiscono un buon funzionamento della macchina.

La tecnica risulta particolarmente idonea per evidenziare i problemi di tipo meccanico e le conseguenze pratiche, che spesso consistono in un livello di finitura dei manufatti inferiore a quello richiesto.

Per quanto riguarda l'individuazione di pericoli di esplosione, l'analisi consente di rilevare le principali cause d'insorgenza di nubi di polvere sospese e le fonti d'innesco.

3.2 Analisi delle variabili di progetto

3.2.1 What If Analysis

Nella tabella successiva è riportato un esempio di applicazione relativo all'impianto di captazione e abbattimento polveri.
Le domande sono ricavate da articoli dello standard NFPA 651/98, precisamente dai punti 4-3.2 e 4-3.5.

Tab. 18 What if analysis relativa ai condotti e all'impianto di abbattimento

What if	***Conseguenze***	***Pericoli***	***Tecniche preventive***	***Integrazioni e misure tecniche***
Diminuzione velocità nei condotti	- Aumenta la concentrazio-ne di polvere. - Deposito di polvere nei condotti	Superamento del LEL	- Flussostato a monte del ventilatore e deprimometro all'inizio di ogni collettore, con blocco alle smerigliatici - Inertizzazione tubazioni mediante iniezione di $CaCO_3$ - Inertizzazione manuale carter mediante $CaCO_3$	
Rottura collettori	- Diminuzione velocità nei condotti - Dispersione polveri	-Superamento del LEL - Accumulo polvere	I collettori sono collocati in posizione elevata, lontano da possibili contatti accidentali ed ove possibile posti all'esterno dell'edificio	

What if	***Conseguenze***	***Pericoli***	***Tecniche preventive***	***Integrazioni e misure tecniche***
Rottura giunzione	- Diminuzione velocità nei condotti - Dispersione polveri	-Superamento del LEL - Accumulo polvere	Le giunzioni sono orientate in modo tale che, in caso di apertura violenta, i tratti dei condotti siano proiettati lontano dal personale	
Tubi non lisci	Accumulo di polvere	Superamento del LEL	Tutte le tubature sono realizzate internamente lisce	
Presenza tratti ciechi o inutilizzati	Accumulo di polvere	Superamento del LEL	Non sono previste serrande di taratura o di esclusione	
Manca messa a terra	Accumulo cariche elettrostatiche	Possibile innesco	Tutte le parti dell'impianto sono collegate elettricamente e messe a terra	Predisporre controlli periodici dell'impianto elettrico e dei collegamenti a terra

3.2.2 Hazard and Operability Analysis

Nel seguito viene proposto un esempio applicativo di HazOp ad un impianto di aspirazione e di abbattimento polveri ad umido.

Impianti di captazione delle polveri

L'impianto di captazione e abbattimento è schematizzato nella Fig.19.

Le polveri prodotte dalle macchine smerigliatrici sono captate in prossimità della sorgente e, attraverso una rete di tubazioni, convogliate all'impianto di abbattimento. L'aria è aspirata da un ventilatore posto tra abbattitore e camino.

I componenti salienti dell'impianto sono descritti nel seguito.

- Tramite le ***bocchette di aspirazione*** (6), la polvere raggiunge i collettori attraverso le tubazioni (7).
- I ***collettori*** principali (8), in lamiera di acciaio zincato, sfociano nel duomo del Venturi scrubber. I giunti devono essere nel verso del flusso e le curve con superficie interna liscia per scongiurare il deposito della polvere di alluminio.
- Tutti i punti più alti dei collettori sono dotati di ***fori di sfogo***, sempre aperti, per disperdere in atmosfera le molecole di idrogeno che potrebbero formarsi a impianto fermo, in presenza di condensa.
- Ogni linea di aspirazione è dotata di ***deprimometro*** che registra la diminuzione di depressione all'interno del collettore e dà l'allarme se questa scende al di sotto del valore per cui è tarato lo strumento; contemporaneamente disalimenta le smerigliatrici.
- Se l'impianto prevede addizione di inertizzante, ogni collettore è dotato di un ***propulsore*** (I) che insuffla carbonato di calcio in polvere.
- Ciascun dosatore di carbonato di calcio è dotato di un ***sensore di livello*** che attiva l'allarme ottico-sonoro quando il carbonato scende sotto il livello minimo; se l'operatore non interviene entro 15 minuti, è automaticamente interrotta l'alimentazione alle smerigliatrici collegate alla linea del dosatore. È dotato inoltre di un ***sensore di prossimità*** di tipo meccanico che attiva l'allarme ottico-sonoro e contemporaneamente stacca l'alimentazione alle macchine della linea nel caso in cui la valvola a farfalla, che consente l'immissione del carbonato nel collettore, non si apra per 4 minuti.
- Pressostato, posto sulla linea di alimentazione dell'aria compressa, che attiva l'allarme ottico-sonoro e contemporaneamente stacca l'alimentazione alle macchine della linea se la pressione scende al di sotto del valore minimo necessario per l'azionamento della valvola a farfalla.

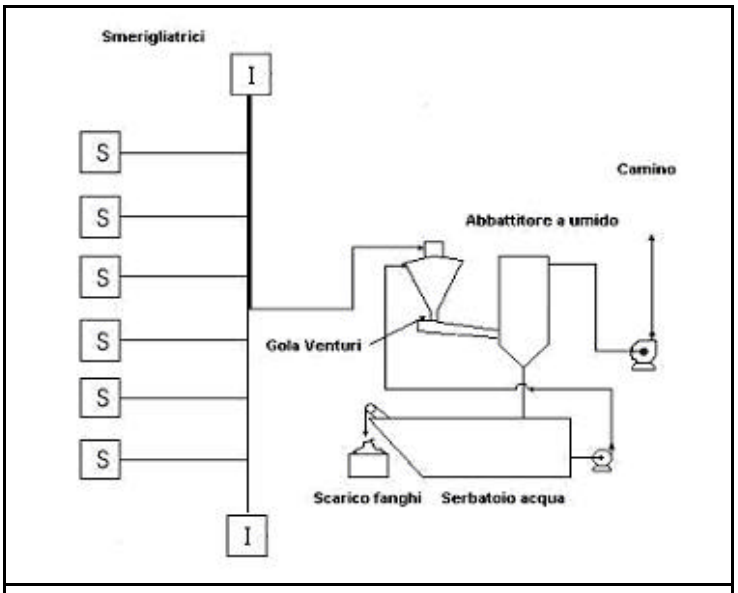


Fig. 19 Schema di un impianto ad umido

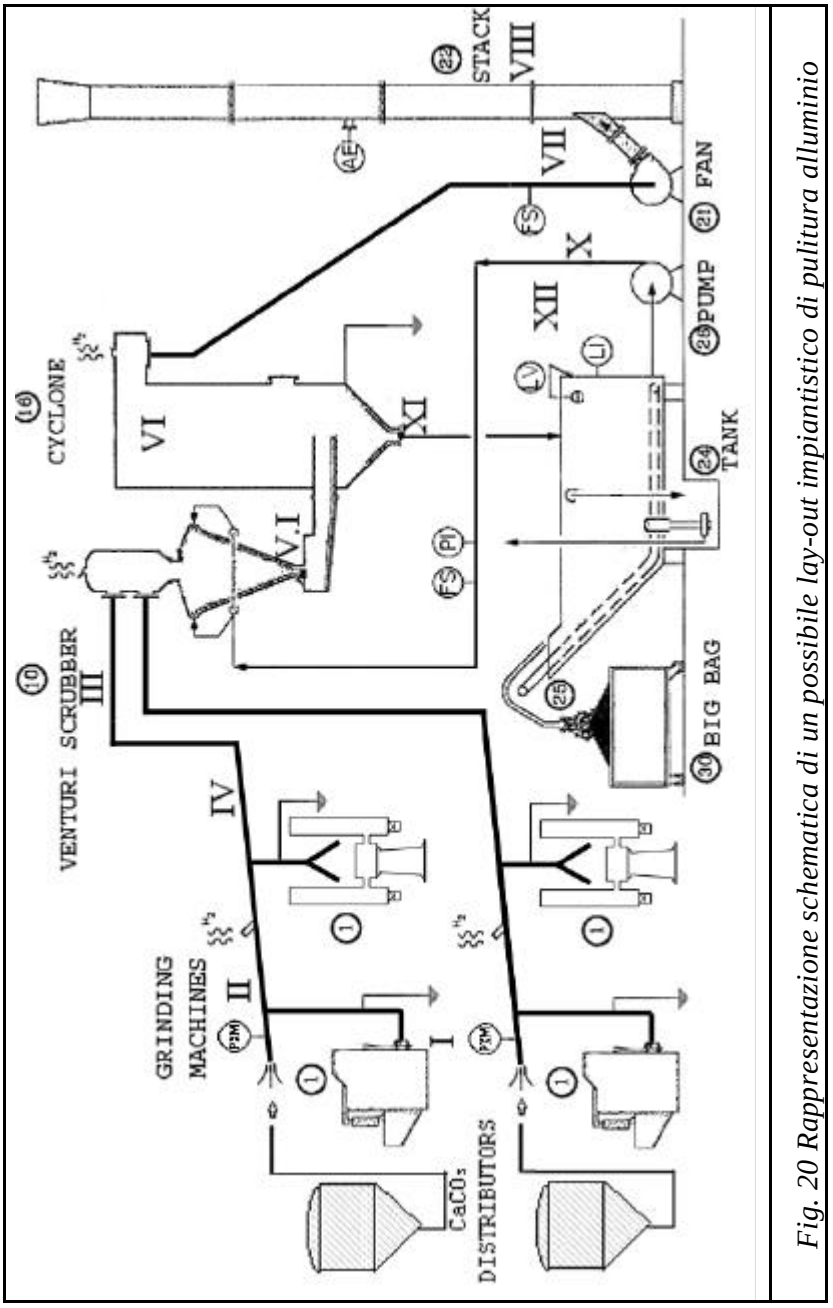


Fig. 20 Rappresentazione schematica di un possibile lay-out impiantistico di pulitura alluminio

Tab. 19 Componenti del sistema e loro funzioni

Postazione	***Componenti***
1	Macchine smerigliatrici
2	Manufatti da smerigliare
3	Nastri abrasivi
4	Zone di contatto in cui si genera la polvere
5	Carter di protezione delle macchine smerigliatrici
6	Bocchette di captazione della polvere
7	Tubazioni di trasporto della polvere dalle macchine ai collettori
8	Collettori dei flussi provenienti dalle tubazioni
9	Punti di iniezione ritmata di polvere inertizzante nei collettori
10	Gruppo lavatore Venturi-Scrubber
11	Duomo d'innesto dei collettori
12	Camera del Venturi-Scrubber
13	Gola del Venturi-Scrubber
14	Portello di ispezione e lavaggio del Venturi-Scrubber
15	Camera di miscelazione e convogliatore del flusso al separatore
16	Separatore a ciclone
17	Cielo del separatore
18	Portello per ispezione e lavaggio separatore
19	Tramoggia di scarico del separatore
20	Tubazione di collegamento al ventilatore
21	Ventilatore esaustore
22	Camino di scarico
23	Presa UNI per campionamento e misure
24	Vasca di raccolta acque di lavaggio
25	Estrattore fanghi
26	Pompa di circolazione acque di lavaggio
27	Tubazione di immissione acqua di reintegro
28	Dispositivo automatico di mantenimento livello acqua
29	Caduta fanghi
30	Cassone di raccolta fanghi
31	Sfioratore di troppo pieno della vasca
32	Serbatoio di raccolta acque di sfioro con segnalatore di emergenza
33	Pompa di travaso
34	Aperture di sfogo gas idrogeno
35	Messe a terra delle apparecchiature del sistema
36	Sensore di portata dell'aria di trasporto
37	Sensore di pressione circuito acqua di lavaggio
38	Sensore di portata acqua di lavaggio
39	Sensori di livello acqua nella vasca (max.-min.-allarme)

- ***Gruppo di lavaggio a gola Venturi***: la miscela di aria e polveri di alluminio e di carbonato di calcio è trasportata dai collettori sino al ***duomo*** (Fig.21) di raccolta al cono Venturi alla cui sommità la polvere è posta in contatto con l'acqua di riciclo pompata (26) dalla vasca di sedimentazione (24).
  Un insieme di ***ugelli,*** disposti in modo tale da rendere la distribuzione dell'acqua più regolare possibile, nebulizza l'acqua a monte della gola Venturi a pressione di rete. Nella zona turbolenta le particelle solide sono catturate dalle goccioline d'acqua.
  La depressione dovuta all'effetto Venturi provoca una parziale evaporazione dell'acqua che, ricondensandosi nella sottostante ***camera di raccolta e convogliamento*** (15), favorisce l'abbattimento delle particelle più fini delle polveri.

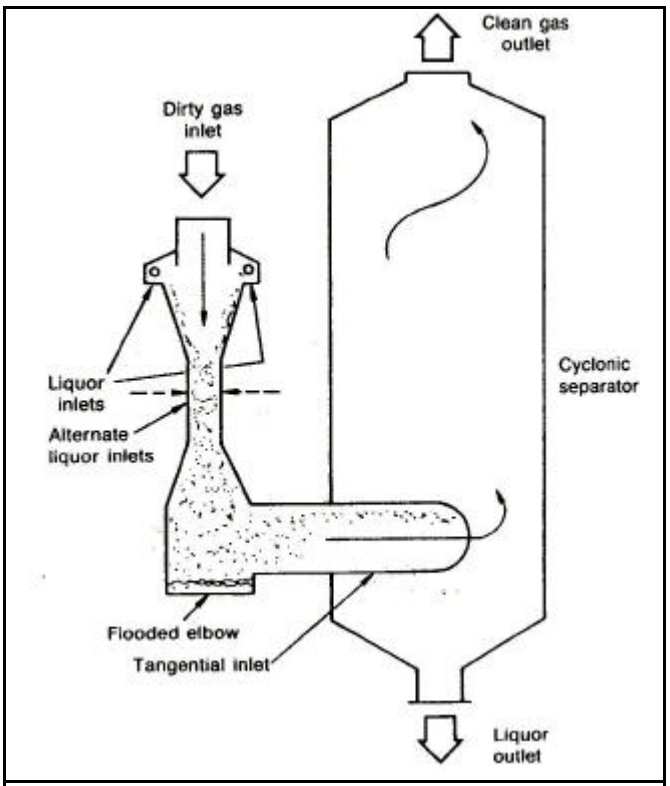


Fig. 21 Venturi scrubber e idrociclone

- ***Vasca di sedimentazione*** per la decantazione dei fanghi provenienti dal ciclone e la chiarificazione dell'acqua da ricircolare nel Venturi scrubber. Un dispositivo a rastrelli ad azionamento ritmico estrae con continuità il fango depositato per scaricarlo in un attiguo contenitore.
  La vasca è collegata alla rete idrica (27) e il ripristino del livello, reso necessario dall'evaporazione, è controllato automaticamente a mezzo di un *meccanismo a galleggiante* (28): i livelli dell'acqua, massimo e minimo, sono rilevati da *sensori* (39), collegati al quadro elettrico di comando e controllo del sistema, che azionano allarmi ottici e sonori e arrestano il processo.
  In caso di mancato funzionamento del sensore di massimo livello, uno sfioratore funge da troppo pieno e scarica il liquido in eccesso in una vasca di contenimento.
  Nella parte superiore della vasca è ricavata una *camera di calma a labirinto*: da questa camera l'acqua chiarificata è prelevata da una pompa e inviata al gruppo di lavaggio Venturi attraverso un circuito idraulico esente da sistemi di intercettazione o parzializzazione, così da imporre un funzionamento sempre a pieno regime. I suoi dispositivi di intercettazione, normalmente bloccati in posizione di apertura, possono essere attivati manualmente in caso di emergenza. Un pressostato e

un flussostato, collegati al quadro elettrico di comando e controllo, provvedono ad attivare *allarmi ottici e sonori* e ad arrestare il sistema in caso di mal funzionamento.
Il dispositivo di controllo del livello di liquido nel separatore interrompe l'alimentazione alla macchina smerigliatrice in caso di malfunzionamento dell'impianto di separazione.

- ***Separatore centrifugo***: dalla camera di raccolta e convogliamento, il flusso è inviato ad un ciclone (16) provvisto, nella parte più elevata, di *foro di sfogo* (34) sempre aperto. La frazione liquida defluisce nella vasca (24) tramite apposito scarico sommerso.
  La frazione aeriforme, depurata, è aspirata dal ***ventilatore*** di coda (21) tramite tubazione (20) e inviata al camino (22).
  Anche il separatore a ciclone è dotato di un coperchio (17) opportunamente conformato per facilitare l'espulsione di eventuali molecole di gas idrogeno e di portello (18) per ispezione e lavaggio manuale.

- ***Ventilatore centrifugo*** che assicuri la portata d'aria occorrente per aspirare il flusso inquinante (almeno pari a 34.000 m^3/h). È posto a valle del separatore in modo tale che la girante risulti investita da aria già priva di polveri e sia quindi eliminato il pericolo di abrasione e corrosione.

Non si è ritenuto necessario suddividere l'impianto in sottoinsiemi, pertanto la prima operazione è consistita nell'individuazione dei nodi in cui si possono avere le deviazioni delle variabili di processo (identificati con numeri romani in Fig. 20).

Nel nodo I, in corrispondenza della macchina smerigliatrice, la variabile d'interesse è la velocità di aspirazione e una deviazione significativa è la riduzione della velocità attribuibile alle seguenti cause:

- ostruzione della griglia posta sulla bocca di aspirazione (in seguito contrassegnata con un * in quanto causa primaria, cioè non ulteriormente scomponibile);
- rottura del tubo flessibile di collegamento tra la macchina (nodo I) e il collettore principale (nodo II) –causa primaria-;
- insufficiente depressione all'interno del collettore principale (nodo III).

La bassa velocità di aspirazione provoca un accumulo di polvere sia nel carter della smerigliatrice, sia nella tubazione di collegamento macchina-collettore e non vi sono sistemi di protezione che intervengono sulla deviazione considerata.
In accordo con lo schema proposto in Fig.20, nella riga successiva si considera come causa una delle conseguenze della riga precedente. Nel caso in esame diventa causa l'accumulo di polveri al nodo I che porta alla formazione di un'atmosfera esplosiva all'interno del carter della macchina. La conseguenza, in presenza di innesco, è un'esplosione che, in quanto evento ultimo, è contrassegnato come primo top event del sistema.
Quanto commentato è riportato in Tab. 20.

Procedendo nell'analisi in maniera ricorsiva, cioè spostando le deviazioni nella seconda colonna della riga successiva e le conseguenze nella prima colonna (Tab. 20), si sviluppano tutte le conseguenze fino a giungere ai top event.

Le cause che portano a un'insufficiente depressione nel tubo di collegamento fra macchina e collettore sono:

1. la bassa aspirazione prima dell'ingresso nel duomo del Venturi scrubber (nodo III);
2. la rottura del collettore, nel tratto compreso fra i nodi II e III;
3. l'occlusione del collettore.

Tab. 20 Applicazione dell'HazOp relativamente alla prima deviazione

Deviazioni	***Cause***	***Conseguenze***	***Allarmi o segn. ottiche***	***Blocchi automa-tici***	***Note***	***TE***
I. Bassa velocità	*I. Ostruzione griglia *Rottura tubo I-II	Accumulo polvere in tratto I-II				
	II. Insufficiente depressione	I. Accumulo polvere				
I. Accumulo polvere	I. Bassa velocità	I. Atmosfera esplosiva				
I. Atmosfera esplosiva e *I. Innesco	I. Accumulo polvere	I. Esplosione			Esplosione interna al carter e nel tubo di collega-mento I e II	1
II. Insufficiente depressione	III. Bassa aspirazione *Rottura tubo II-III *Tubo II-III occluso	I. Bassa velocità	(PXM)	(PXM)		
III. Bassa aspirazione	V. Bassa aspirazione	II. Insufficiente depressione				

In conclusione, l'HazOp si è rivelata essere il metodo più dettagliato ed esaustivo per una valutazione dei rischi dell'impianto di abbattimento polveri in quanto, partendo dalle deviazioni di ciascuna variabile e seguendone i possibili sviluppi, permette di individuare i Top Event caratteristici dei sistemi.

3.2.3 Fault Tree Analysis

Nella figure Si presenta a titolo di esempio l'albero di guasto derivato dalla HazOp presentata al paragrafo precedente.

La riduzione ai Minimal Cut Set è stata effettuata mediante il codice ASTRA ®.

Con riferimento ad uno dei Top Event evidenziati mediante l'applicazione dell'HazOp ai diversi ambiti di lavoro, ovvero l'esplosione interna al carter delle macchine smerigliatrici e nel tubo di collegamento tra la macchina e il collettore principale, si può osservare come concorrano 2 MCS di ordine 2 [(2)] entrambi caratterizzati da probabilità di accadimento sicuramente basse, 3 MCS di ordine 4 e da 2 di quinto ordine.

I due MCS critici sono:

- rottura tubo I-II e innesco;
- ostruzione griglia e innesco: si potrebbe valutare l'eventualità di rimuovere le griglie eliminando così il MCS stesso, ma occorre valutare attentamente se questa soluzione tecnica introdurrebbe fonti di rischio superiori a quelle eliminate.

Di seguito si riporta la visualizzazione grafica dell'albero dei guasti effettuata con il programma ASTRA ®.

[(2)] L'*ordine di un MCS* è il numero di eventi terminali inclusi nel MCS. Pertanto, per un MCS di ordine 2 è necessario l'accadimento simultaneo di due eventi base per giungere al TE.

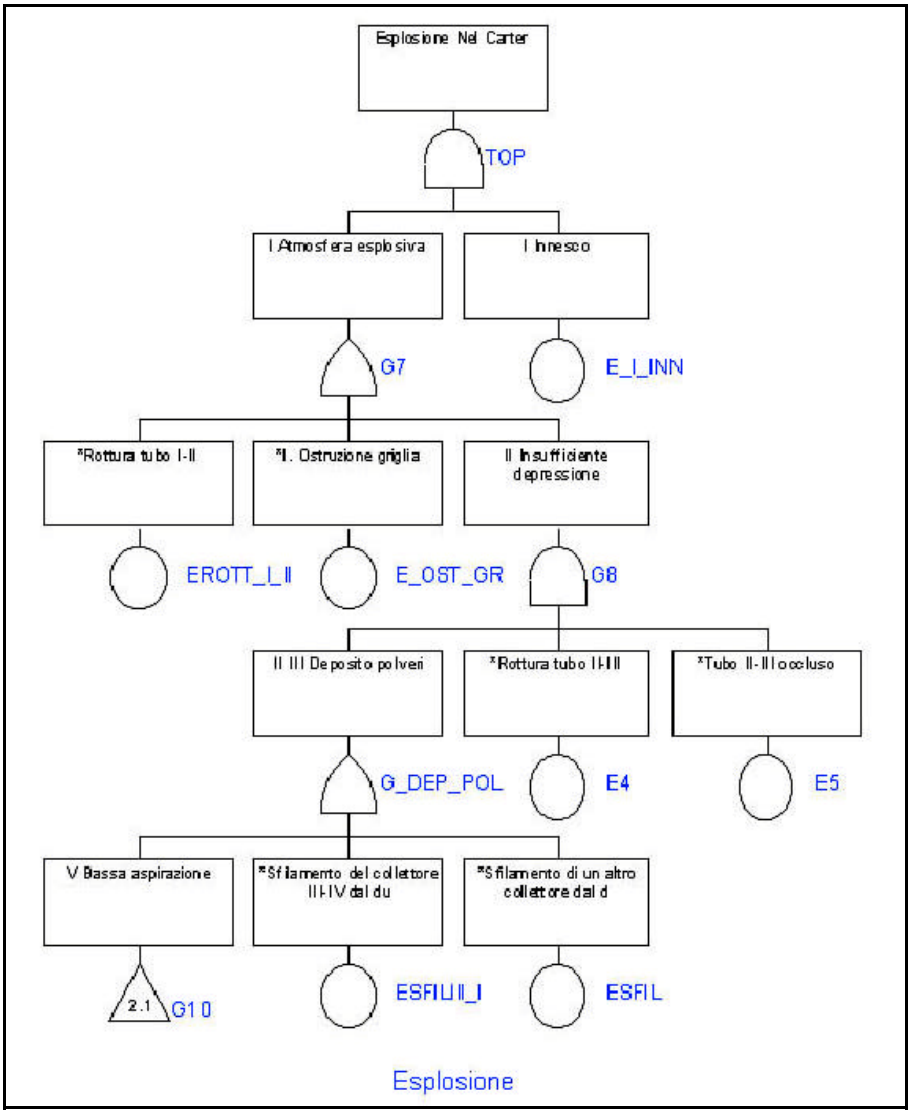


Fig. 21a Albero dei guasti avente per Top Event l'esplosione nel carter (prima parte)

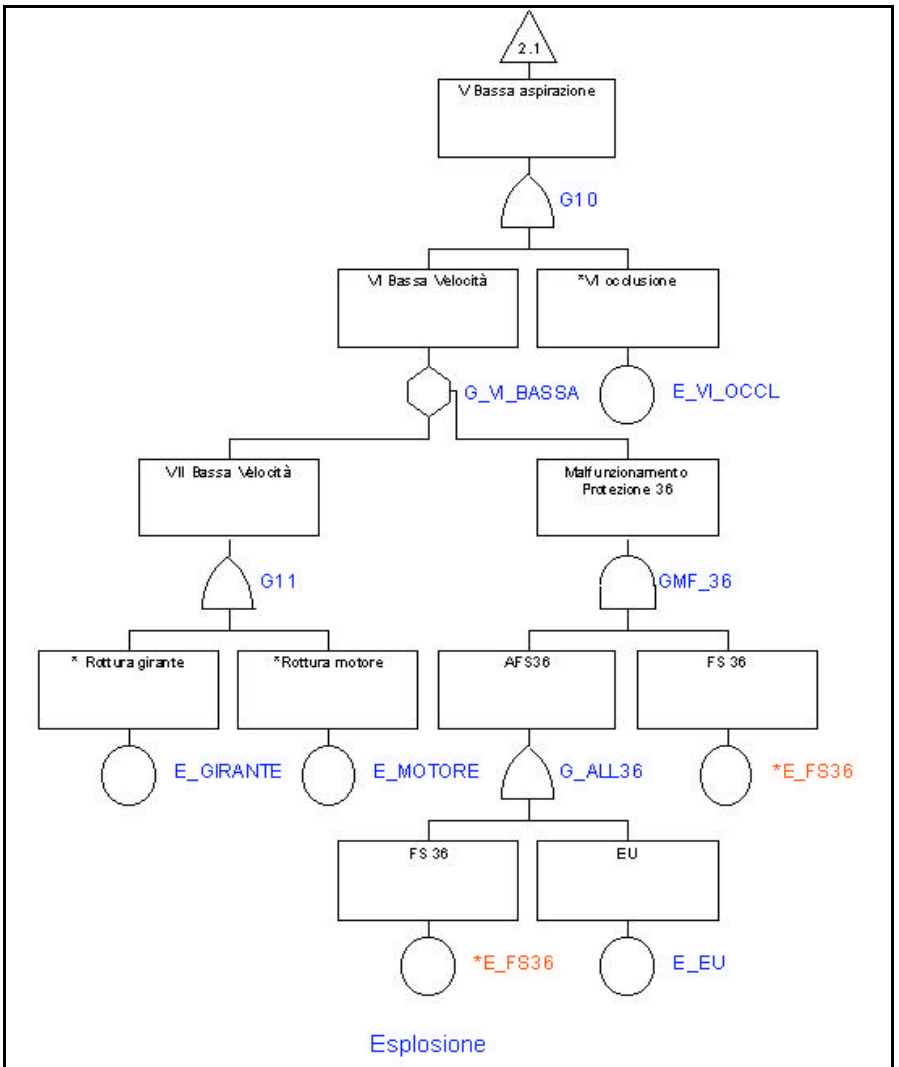


Fig. 21b Albero dei guasti avente per Top Event l'esplosione nel carter (seconda parte)

3.3 Esame dei risultati delle prove applicative delle varie tecniche di analisi

Di seguito sono forniti alcuni commenti relativi alle prestazioni applicative di ciascuno dei metodi di Hazard Evaluation adoperati a titolo di esempio nel contesto in esame, fermo restando che, come gia' chiarito, la analisi della sicurezza in condizioni operative normali va in primo luogo affrontata mediante una Job Safety Analysis

Tale tecnica è infatti in grado di risolvere direttamente gli aspetti relativi agli ambiti A, B, C, obiettivi 1, 2, 3, come di seguito richiamati dal punto 2.2.4. (Tab. 22), e comunque di inquadrare compiutamente tutta la problematica generale a livello operativo, mentre a livello progettuale occorre rivolgersi a metodiche di analisi predittive, come indicato in Fig.10.

Sempre come detto all'interno della Job Safety Analysis possono trovare impiego le tecniche in questione.

Le considerazioni conclusive sono proposte nella Tab.23 di compendio.

Tab.22 ambiti ed obiettivi di applicazione delle tecniche di analisi utilizzate

ambiti	A. macchine e attrezzature corredate di marcatura CE B. macchine e attrezzature non corredate da marcatura CE; C. luoghi di lavoro; D. impianti complessi, quali quelli di abbattimento polveri.
obiettivi	1. valutazione di conformità di mezzi, apparecchiature, procedure ai dispositivi di legge; 2. valutazione dei rischi cui sono esposti i lavoratori; 3. valutazione dell'adeguatezza di strumenti e procedure; 4. valutazione dei rischi di incidenti "gravi" per lo più legati a malfunzionamenti o rotture.

Analisi mediante Liste di controllo (checklist)

Le liste di controllo sono particolarmente efficienti per l'analisi degli obiettivi 1, 2 e 3 in cui è disponibile uno standard specifico dal quale possono essere estratti i questionari. In assenza di standard specifici, si può fare riferimento a norme più generali (UNI EN 414:2002); peraltro le liste di controllo non possono essere adoperate per l'analisi dei pericoli derivanti da malfunzionamenti di attrezzature o dispositivi di sicurezza, e quindi appaiono non adeguate nel caso dell'obiettivo 4 (ambiti A, B e D) se non come metodo ausiliario.

Analisi What-If

Possono essere espresse al riguardo le medesime considerazioni proposte per le liste di controllo. L'analisi What If può essere efficacemente usata per lo studio degli obiettivi 1, 2 e 3 (ambiti A, B e D); la si può adoperare partendo da uno standard specifico e permette una stima, peraltro qualitativa, delle conseguenze di deviazioni. È pertanto un metodo più efficace della checklist a supporto di tecniche come la FMEA e l'HazOp di cui si discute in seguito.
L'utilizzo di questa tecnica può rivelarsi proficuo anche nell'ambito C (Luoghi di lavoro) obiettivi 2, 3 e 4.

Analisi FMEA (Failure Mode Effect Analysis)

La tecnica FMEA può risultare particolarmente utile per lo studio delle conseguenze derivanti da guasti di macchine (è quindi adeguata per lo studio degli ambiti A e B e degli obiettivi 3 e 4). Nel caso di impianti di produzione (ambito D), dove è necessario valutare accuratamente la correlazione tra guasti, conseguenze localizzate e azione dei dispositivi di protezione, la tecnica non risulta peraltro sufficientemente efficace. Essendo inoltre impegnativa da utilizzare, può essere raccomandabile avvalersene come ausilio nell'analisi di problematiche complesse nel caso di attrezzature prive di marcatura CE, problematiche identificate mediante tecniche più semplici quali ad es. la checklist. D'altra parte la tecnica FMEA può fornire indicazioni sugli eventi iniziatori utili per la applicazione di tecniche quali la HazOp.

Analisi HazOp ricorsiva (recursive hazardous operability analysis)

Questa tecnica ha dimostrato di essere chiaramente la più adeguata per lo studio dell'ambito D, obiettivo 4 e può quindi essere ritenuta la più efficace per l'analisi degli impianti di aspirazione.
Ciò dipende dalle intrinseche caratteristiche del metodo, che è stato messo a punto per analizzare le deviazioni delle variabili di processo ed è quindi particolarmente adatto per l'analisi degli impianti nei quali alcune variabili sono controllate ed in cui sono presenti sistemi di controllo ed in cascata.
La tecnica HazOp consente l'identificazione degli eventi a maggior criticità, derivanti da carente funzionamento dei diversi componenti dell'impianto. Essa si è dimostrata efficace anche nello studio dell'ambito B, obiettivi 3 e 4, ancorché in questo caso risulti preferibile l'adozione di tecniche quali la FMEA. Inoltre la HazOp costituisce un utile strumento anche per l'analisi di affidabilità, dato che consente in modo automatico la impostazione degli alberi di guasto.

Analisi per Albero di Guasto (Fault Tree Analysis)

Questa tecnica è utilizzabile principalmente per valutazioni di affidabilità. In questo senso, essa costituisce uno strumento essenziale nell'individuazione dei percorsi critici e dei Minimal Cut Sets e nella loro quantificazione probabilistica, il che peraltro è possibile solo se si dispone di dati adeguati circa l'affidabilità dei componenti.
La tecnica risulta particolarmente adatta nell'ambito D obiettivo 4. In questo caso si è potuta conseguire la risoluzione dell'albero fino ai Minimal Cut Sets. La costruzione di un albero di guasto facilita la comparazione di efficacia delle misure tecniche perché permette di valutare direttamente le conseguenze di una modifica tecnologica in termini di probabilità di accadimento. Almeno in prima approssimazione può risultare utile anche con riferimento all'ambito B, obiettivi 2, 3 e 4.

Indicazioni relative ad Obiettivo 3

Questo aspetto non può essere studiato autonomamente, dal momento che i rischi per i lavoratori possono anche derivare da scenari individuati negli obiettivi 1, 2 e 4.

Tab. 22 Compendio dell'insieme degli obiettivi degli scenari e delle tecniche che sono risultate più efficaci - le tecniche ausiliarie sono indicate in parentesi.

Obiettivo / Ambito	1 **Conformità ai disposti di legge**	2 **Adeguatezza di strumenti e procedure**	3 **Rischi a cui sono esposti i lavoratori**	4 **Rischi di incidenti gravi**
A. Macchine e attrezzature marcate CE	*What If* *Checklist*	*What If* *Checklist*	*What If* *Checklist* *FMEA*	*FMEA* *(What If)* *(Checklist)*
B. Macchine e attrezzature non marcate CE	*What If* *Checklist*	*What If* *Checklist* *(FTA)*	*What If* *Checklist* *FMEA* *(HAZOP)* *(FTA)*	*FMEA* *(What If)* *(Checklist)* *(HAZOP)* *(FTA)*
C. Luoghi di lavoro	*Checklist*	*(What If)* *Checklist*	*(What If)* *Checklist*	*(What If)* *Checklist*
D. Impianti ausiliari	*What If* *(Checklist)*	*What If* *(Checklist)*	*What If* *(Checklist)*	*HAZOP* *FTA* *(What If)* *(Checklist)* *(FMEA)*

Conclusioni

La potenziale pericolosità delle esplosioni di polveri di alluminio aerodisperse è un fatto da tempo noto in letteratura, che ha già provocato pesanti incidenti anche nell'area del Verbano Cusio Ossola in cui, da diversi anni, sono attive aziende che curano le lavorazioni di finitura, smerigliatura e lucidatura di manufatti in alluminio e leghe.

La questione richiede certamente un'analisi di rischio dedicata, che deve inoltre necessariamente tener conto anche delle possibili conseguenze che un'esplosione può indurre nei confronti delle aree finitime, nel caso, talora, notevolmente urbanizzate.

La gestione del problema non può che passare attraverso soluzioni impiantistiche adeguate e un rigoroso rispetto di precise regole comportamentali da parte degli operatori.

I parametri che condizionano la dimensione del rischio sono certamente la quantità e le caratteristiche del materiale in grado di reagire e la presenza di fattori d'innesco: da quanto si è potuto rilevare in base all'accurata analisi gestita dai tecnici dello Spresal ASL 14, tali condizioni di rischio appaiono ipotizzabili indipendentemente dalle dimensioni industriali delle aziende prese in considerazione. Pertanto, mentre certamente sono libere le scelte in materia di tecniche di analisi di rischio, più vincolanti devono necessariamente essere le scelte in materia di gestione dello stesso.

Il documento qui proposto, che costituisce il completamento dell'attività di studio sulla questione curata in collaborazione dal Politecnico di Torino –Dipartimento Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie con il prezioso contributo di altri esperti del Politecnico stesso- con i Tecnici dello SPreSAL dell'ASL 14 VCO nel rispetto dell'assioma secondo cui l'analisi e lo studio di gestione della sicurezza è fatto multidisciplinare.

Pur nei suoi limiti, vuol costituire un compendio -di cui ci si è sforzati di curare la comprensibilità, magari a scapito di un assoluto rigore scientifico- sulle attuali conoscenze del problema con specifico riferimento agli aspetti di gestione, in termini di impostazione progettuale, conservazione e miglioramento delle condizioni di sicurezza.

Esso è inoltre integrato con una breve sintesi sulle principali tecniche di Hazard Evaluation e con una esemplificazione della loro applicabilità pratica alle problematiche associate alle attività industriali del comparto.

Nel suo insieme quindi il presente opuscolo si vuol proporre come contributo per la impostazione e gestione delle prevenzione delle esplosioni di polvere di alluminio - generate da lavorazioni di pulitura o finitura di manufatti- ed è completato, a quest'ultimo fine, con un riferimento operativo utilizzabile nell'azione –certamente essenziale- di conservazione e verifica (da parte tanto dei Tecnici aziendali quanto degli Organi di Vigilanza) del grado di sicurezza raggiunto.

Bibliografia

Principali riferimenti bibliografici

[1] A.Bena, O.Pasqualini *La salute in Piemonte 2000* pp. 305-315 – Torino, giugno 2001, Regione Piemonte

[2] A.Bobbio *Teoria e metodi dell'affidabilità* Università di Torino, 1999

[3] A.Camisassi, C.Cigna, M.Patrucco: *"Sicurezza nei cantieri: analisi di rischio e condizioni di impiego in sicurezza di macchine operatrici e mezzi di sollevamento di materiali"*, GEAM-Geoingegneria ambientale e mineraria, XLI, 3, Settembre, 2004, pp. 19-32, Lit. Geda, Torino, ISSN 1121-9041

[4] ACGIH *Advances in air sampling*, Lewis Publ, A.C.G.I.H., 1990

[5] C.Ceste, M.Patrucco: *"Il piano di sicurezza nella progettazione ed il suo consolidamento"*, U&C Unificazione e Certificazione, XLII, 8, 1998, pp. 46-48, UNI, Milano

[6] C.Cigna, M.Enrico, M.Patrucco, G.Scioldo: *"Criteri di impostazione e realizzazione di un software per la descrizione ed analisi degli eventi infortunistici"*, Convegno "Prevenzione degli infortuni sul lavoro: tecniche di analisi a confronto", 10 Marzo 2004, Settimo Torinese (TO), Italy, pp. 1-29

[7] C.Clerici, E.Occella, M.Patrucco, A.Serra: *"Sperimentazioni in ambiente controllato sull'attitudine alla emissione di polveri nell'atmosfera da parte di materiali in corso di manipolazione"*. Bollettino Ass. Min.

[8] Cashdollar, Hertzberg, *Industrial dust explosions*, American Society for Testing Materials, 1998

[9] D. Cavallero, L. Marmo, M. Patrucco: *"Sistema di Gestione della Sicurezza e verifiche di integrabilità con i sistemi qualità e ambiente: applicazione in un'azienda chimica a rischio di incidente rilevante"*, Convegno Nazionale VGR 2002, Pisa, 15-17 ottobre 2002, Proceedings su CD ROM.

[10] D.A.Crowl, J.F. Louvar, *Chemical Process Safety: Fundamental with Applications*, Prentice-Hall, 1990

[11] D.Cavallero, M.L.Debernardi, L.Marmo *"Risk analysis methods to evaluate aluminium dust explosion hazard"*, p. 373-380 Proceedings of the European Safety & Reliability International Conference ESREL 2003, Maastricht 2003

[12] D.Reible, *Fundamentals of envinronmental engineering*

[13] Dorsett H.G. et al. *"Laboratory equipment and test procedures for evaluating the explosability of dusts"* RI 5624 U.S. Bureau of Mines, 1960

[14] E.Occella: *"Dinamica delle particelle"*, La stanza dei chimici, Acqua-Aria, n 1,1981.

[15] F.Gai, R.Mancini; M.Patrucco: *"Firedamp explosion prevention in civil tunnels excavation: analysis and discussion of an Italian case"*, CCRI International Mining Tech. 98 Symp. - Coal Mining Safety and Health, Chongquing, China, October 14-16, 1998, Atti pp. 631-636, (ed. China Coal Industry Publishing House), 1998, Chongquing, ISBN 7-5020-1651-1/TD8

[16] Field P. *Dust Explosions*, Elsevier Scientific Publishing Co., New York, 1982

[17] INAIL *Banca dati* marzo 2001 http://www.inail.it

[18] L.Faina; D.Savoca; M.Patrucco: *Linee guida per la valutazione dei rischi per la sicurezza e la salute dei lavoratori nel settore estrattivo ai sensi dell'art.4 comma 1 del decreto legislativo n.626/94*, maggio 1996, edito a cura di Min. Industria, Commercio ed Artigianato, Politecnico di Torino, C.N.R. Firget, Regione Piemonte, Centro Stampa Regione Piemonte, Torino (dep.c/o Procura e Pref. Torino 14/10/99)

[19] L.Faina; M.Patrucco; D.Savoca: *Il Documento Sicurezza e Salute per il settore estrattivo ai sensi dell'art. 6 comma 1 del decreto legislativo n. 624/96*, maggio 1997, Min. Industria, Commercio ed Artigianato, Regione Piemonte, Politecnico di Torino, C.N.R. Firget, Centro Stampa Regione Piemonte, Torino (dep.c/o Procura e Pref. Torino 14/10/99), ripubbl. in atti Incontro su: 'la realta' delle cave oggi: modalita' e difficolta' obiettive nell'attuazione delle norme di sicurezza e di difesa dell'ambientè, Bisentrate (Mi), 17 maggio 1997, pp. 81-92, ed. PEI, Parma

[20] L.Faina; M.Patrucco; D.Savoca: *"La valutazione dei rischi ed il documento di sicurezza e salute nelle attività estrattive a cielo aperto"*, European Commission S.H.C.M.O.E.I. - Workshop on Risk Assessment, Gubbio, 20-23 giugno 1996. Versione estesa plurilingue Atti in corso di stampa - versione in lingua inglese: Guidelines for risk assesment in Italian mines, pubbl.in Doc.No 5619/96 EN - S.H.C.M.O.E.I., Luxembourg, 17 July 1996. pp. 47-71, e in Doc.No 5619/1/96 EN - S.H.C.M.O.E.I., Luxembourg, 17 January 1997, pp. 46-71

[21] L.Faina; M.Patrucco; D.Savoca: *"Valutazione dei rischi per la sicurezza e salute e successivi adempimenti per il settore estrattivo"*, Incontro su 'Valutazione dei rischi per la sicurezza e la salute dei lavoratori del settore estrattivo e successivi adempimenti', Torino, 14 novembre 1996. Pubbl in GEAM - Geoingegneria Ambientale e Mineraria XXXV, 1, 1998, pp. 79-92, Lit. Geda, Torino, ISSN 1121-9041 – approccio ripreso in Bollettino Regione Lombardia, anno XXXII, n.47 2o suppl. straordinario al n.8, giovedi 21 febbraio 2002.

[22] M. Demichela, Marmo L. & Piccinini N. (2002), *"Recursive Operability Analysis of systems with multiple protection devices"*, Reliability Engineering and System Safety, 77 (3): 301-308.

[23] M.L.Debernardi, F.Lembo, L.Marmo, M.Patrucco, R.Tommasini: *"Esplosioni da polvere nei processi di finitura di manufatti in alluminio e leghe nella realta' produttiva ASL 14 VCO: analisi del rischio e misure di prevenzione"*. Volume presentato al Convegno 'Strategie di intervento per ridurre il rischio di incendio ed esplosione nelle aziende con processi di pulitura-finitura di manufatti in alluminio e leghè, Omegna, 25 maggio 2001, Centro stampa giunta regionale del Piemonte, Torino (dep.c/o Procura e Pref. Torino 30/01/02).

[24] M.L.Debernardi, P.DallaValle, F.Lembo, L.Marmo, M.Patrucco: *"Aluminum airborne particles explosions: risk assessment and management at Northern Italian factories"*, The European Conference ESREL 2001: Towards a Safer World, Torino, 16-20 settembre 2001, Proceedings, p. 85-92, MG-Torino, ISBN 88-8202-099-5

[25] M.Patrucco, D.Savoca: *"Attuazione e conservazione della sicurezza nell'ambito della normativa vigente"*, Conv. 'Le tecnologie dei materiali lapidei alla sfida del nuovo millennio' (Università di Cassino), Cassino, 23-24 Settembre, 1999

[26] M.Patrucco: *"Macchine di scavo meccanizzato: significato ed evoluzione degli standard tecnici comunitari"*, Conference on 'Mechanized Tunnelling: experiences and needs of owners, TBM manifacturers, contractors and designers', (SIG-CNR), Roma, 13-15 maggio 1997, Atti pp. 91-99 (SIG Società Italiana Gallerie), 1997, Roma. Ripubbl. in Gallerie e grandi opere sotterranee, XIX, 52, 1997, pp. 52-60, ed. a cura di SIG, Torino, ISSN 0393-1641

[27] M.Patrucco: *"Procedure di campionamento e valutazione del significato dei campioni: una rassegna sullo stato dell'arte"*, III Congresso Italo-Brasiliano di Ingegneria Mineraria, Verona, 26-27 settembre 1994, Atti pp. 398-401, (ed. a cura di A.N.I.M., ed. PEI), 1994, Parma

[28] M.Patrucco: *"Impostazione e gestione della sicurezza del lavoro: un approccio validato per le unita' estrattive"*, Convegno "Lo sviluppo sostenibile delle attivita' estrattive: ambiente e sicurezza", 25-26 Novembre 2004, Milano, Italy, pp. 1-31 edito sul sito Regione Lombardia.

[29] M.Patrucco: *collaborazione al coordinamento e sviluppo del prodotto multimediale 'Rischi di esplosioni da polveri nelle lavorazioni meccanichè*, COREP, Torino, luglio 2002

[30] M.Patrucco: *coordinamento e sviluppo dei moduli Ambiente acustico e Particolati aerodispersi del Modulo 2 'Ambiente di lavoro'*, prodotto multimediale 'Progetto sicuro', COREP, Torino, febbraio 1998, (dep.c/o Procura e Pref. Torino 8/10/98)

[31] M.Patrucco: coordinamento scientifico alla realizzazione del DVD *"Informazione e formazione del personale che opera nelle attività estrattive di superficie: LA SICUREZZA NEGLI IMPIANTI DI PRIMA LAVORAZIONE"*, presentato al Seminario 'Attività di Informazione e Divulgazione sulla sicurezza e prevenzione dei lavoratori nel settore estrattivo', Regione Lazio, 10 Giugno 04, Roma, Italy, ed CORES s.r.l., 2003

[32] M.Patrucco: *Sicurezza ed ambiente di lavoro - vol 1,* dicembre 1997, ed Trauben., Torino, ISBN 88-87013-12-8 (1° stesura Politeko, Torino, giugno 1996)

[33] M.Patrucco: *Sicurezza ed ambiente di lavoro - vol 2 parte 2, MICROCLIMA E MISURA PARAMETRI AMBIENTALI*, aprile 1999, Collana Politeko, Torino, ISBN 88-87380-11-2

[34] M.Patrucco: *Sicurezza ed ambiente di lavoro - vol 2 parte 4, L'INQUINAMENTO DA PARTICOLATI AERODISPERSI NEGLI AMBIENTI DI LAVORO: VALUTAZIONE E GESTIONE*, marzo 2002, Collana Politeko, Torino, ISBN 88-87380-29-5

[35] M.Patrucco; M.Pinzari: *"The use of the functional spaces analysis technique at dimension stones exploitation: results in the evaluation of the achievable production level and work safety improvement"*. 17 World Mining Congress, Acapulco, Mexico, October 14-18, 1997, Atti pp. 205-214, 1997, Acapulco

[36] N.Piccinini & I.Ciarambino (1997). *"Operability analysis devoted to the development of logic trees"*, Reliability engineering and System Safety; 55: 227-241.

[37] P.Cardillo *"Esplosioni industriali provocate da polveri"* 4° Seminario Rischio e Ambiente, 28-29 Marzo 2000

[38] R.Mancini, M..Patrucco: *"Contributo allo studio dell'influenza dell'umidita' sul comportamento degli esplosivi al nitrato ammonico"*. Bollettino Ass. Min. Subalpina, XII, 1-2, 1975, pp. 202-209, ed. S.P.E. Torino

[39] R.Tommasini: *"Classificazione dei luoghi con pericolo di esplosione per la presenza di polveri combustibili"*. Unificazione & Certificazione (U&C), Organo Ufficiale UNI-CEI-SANAL-SINCERT, n. 7, luglio /agosto

[40] *Reports of the Royal Commission on matters of Health and safety arising from the use of asbestos* in Ontario Ontario Ministry of the Attorney General, Canada, 1984.

[41] Rolf Eckhoff K. *Dust explosion in the process industries*, Butterworld Heinemann, 1977

[42] V.Cokorilo; M.Milicic; M.Patrucco: *"A method of quality evaluation for mining machines"*, Quarry and Construction, XXXV, 9, 1997, pp. 65-69, ed PEI, Parma

[43] W.Bartknecht *Explosion: Course, prevention and protection*, Springer-Verlag, New York, 1981

Principali Riferimenti Normativi

[44] ASTM Standard E 1226 - 2000 Test Method for Pressure and Rate of Pressure Rise for Combustible Dusts;

[45] BG ZH 1/32 -1990 Richtlinien zur Vermeidung der Gefahren von Staubbränden und Staubexplosionen beim Schleifen, Bürsten und Polieren von Aluminium und seinen Legierunge;

[46] CEI 56-1 –1988 Metodi di analisi per l'affidabilità dei sistemi. Procedura di analisi per i modi e gli effetti di guasto(FMEA)

[47] CEI 56-31 –2000 Analisi dell'albero dei guasti

[48] CEI 61241-3 –1997 Electrical apparatus for use in the presence of combustible dust

[49] CEI 64-2 – 1990 Impianti elettrici nei luoghi con pericolo di esplosione

[50] CEI EN 60079-10 –2001- Electrical apparatus for explosive gas atmospheres - Part 10: Classification of hazardous areas

[51] D.M. 12 luglio 1990: linee guida per il contenimento delle emissioni inquinanti

[52] D.P.R. 459 del 24 luglio 1996: Regolamento per l'attuazione delle direttive 89/392/CEE, 91/368/CEE, 93/44/CEE, 93/68/CEE, concernenti il riavvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative alle macchine

[53] D.P.R. 547/55 Norme per la prevenzione degli infortuni sul lavoro

[54] Direttiva 94/9/CE concernente il riavvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative agli apparecchi e sistemi di protezione destinati a essere utilizzati in atmosfere potenzialmente esplosive

[55] Direttiva 98/37/CE concernente il ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative alle macchine (che sostituisce la Direttiva 89/392/CE)

[56] Direttiva 99/92/CE relativa alle prescrizioni minime per il miglioramento della tutela della sicurezza e della salute dei lavoratori che possono essere esposti al rischio di atmosfere esplosive

[57] DPR 459/96 Allegato 1 Requisiti essenziali di sicurezza e di salute relativi alla progettazione e alla costruzione delle macchine e dei componenti di sicurezza

[58] EN 1127-1 -1997 Explosive atmospheres – Explosion prevention and protection – part 1: Basic concept and methodology

[59] EN 481 – 1994 Atmosfera nell'ambiente di lavoro

[60] EN 50281-1-2 (CEI 31-36) Costruzioni elettriche destinate all'uso in ambienti con presenza di polvere combustibile. Costruzioni elettriche protette da custodie - Scelta, installazione e manutenzione

[61] EN 50281-3 (CEI 31-52)- 2000 Costruzioni elettriche destinate all'uso in ambienti con presenza di polvere combustibile. - Parte 3: Classificazione dei luoghi dove sono o possono essere presenti polveri combustibili

[62] NFPA 651 -1998 Standard for the Machining and Finishing of Aluminum and the Production and Handling of Aluminum Powders

[63] UNI EN 1050 -1998 Sicurezza delle macchine – valutazione del rischio

[64] UNI EN 26184/1-1991 Sistemi di protezione contro le esplosioni. Determinazione degli indici di esplosione di polveri combustibili in aria

[65] UNI EN 292-1 -1991 Sicurezza del macchinario - Concetti fondamentali, principi generali di progettazione - Terminologia, metodologia di base

[66] UNI EN 292-2 – 1992 Sicurezza del macchinario - concetti fondamentali, principi generali di progettazione - Specifiche e principi tecnici

[67] UNI EN 414 –2002 Sicurezza del macchinario Regole per la stesura e la redazione di norme di sicurezza

[68] UNI EN 954-1 -1998 Sicurezza del macchinario - Parti dei sistemi di comando legate alla sicurezza - Principi generali per la progettazione

[69] VDI 2263 Incendi ed esplosioni causati da polveri: pericoli, valutazioni, contromisure ,1992